



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



ACADEMIA MILITAR
DULCE ET DECORUM EST PRO PATRIA MORI

ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ.

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CURA

Ana Rita Letra Macedo Marques

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Militar

Juri

Presidente: Prof. Doutor António Heleno Domingues Moret Rodrigues

Orientador: Prof. Doutora Ana Paula Patrício Teixeira Ferreira Pinto França de
Santana

Co-Orientador: Prof. Doutor Augusto Martins Gomes

Vogal: Eng. João Manuel Bessa Pinto

Dezembro 2010

AGRADECIMENTOS

À minha Orientadora, Professora Ana Paula Pinto, por toda compreensão, pela sua atenção e forma generosa como me acompanhou durante as diferentes fases da elaboração desta dissertação, pela troca de conhecimentos, pela sua disponibilidade e auxílio na conclusão deste trabalho. Gostaria de agradecer ainda ao meu Co-Orientador, Professor Augusto Gomes pela sua compreensão e disponibilidade.

Ao Engenheiro Nuno Almeida, um agradecimento muito especial por toda a ajuda no laboratório e na escrita da tese, e sem o qual, sem dúvida alguma, esta dissertação não seria a mesma.

À Engenheira Rita Nogueira pelas inúmeras dúvidas que lhe coloquei e que prontamente me soube responder.

Ao João Tiago e ao Diogo Serpa pela ajuda e companhia durante o trabalho experimental, pela sua disponibilidade e troca de opiniões e conhecimentos.

À Ana Maria Gonçalves, pela ajuda na recolha de dados no laboratório e por toda a sua ajuda e apoio ao longo do meu percurso no Instituto Superior Técnico.

Ao Sr. Leonel e ao Sr. Fernando Costa, funcionários do laboratório pela ajuda, empenhamento e motivação na fase de preparação e execução de ensaios, pela disponibilidade, simpatia e capacidade de motivação.

Ao Sr. Nuno Baptista da empresa CALCIDRATA, que desde o primeiro contacto demonstrou disponibilidade constante em tirar dúvidas e em dar a conhecer a linha de produção da cal, pelo fornecimento de material didáctico e pelo fornecimento gratuito da cal para a elaboração deste trabalho de investigação.

À Sra Ângela Nunes da SECIL, e ao Centro de Desenvolvimento de Aplicações do Cimento pela essencial ajuda que deram na caracterização das Cinzas de Casca de Arroz.

À minha família dedico esta tese e agradeço especialmente. Não é descritível em palavras a gratidão e reconhecimento que sinto por todas as pessoas que fazem parte do meu núcleo familiar (ainda que alguns eu tenha adoptado como família). A eles devo tudo. Agradeço-lhes terem posto o futuro de novo à minha frente quando este parecia muito esbatido. As palavras quando foram precisas, o silêncio quando mais fez falta, o apoio, o acreditarem mesmo quando parecia impossível.

Aos meus irmãos, Victor e Sara, cunhados, Susana e André e sobrinhos, Nuno e Clara pelo constante apoio, paciência, amizade e boa disposição demonstradas durante todo o meu percurso. Por serem parte essencial da minha vida.

À Betó e ao Sr. Neto por serem seres humanos extraordinários, que me acompanham desde à algum tempo, por todo o apoio, por estarem sempre disponíveis. É inmensurável a gratidão que sinto por vós.

Aos meus pais, Manuel e M^a de Lourdes, um reconhecimento muito especial, por tudo o que sempre fizeram e passaram por mim. Pelo que lutaram comigo e por mim. Pelo ânimo e alento. Agradeço-lhes pelas maravilhosas pessoas que são, pelo exemplo que dão e que eu espero um dia conseguir igualar. Expressar tudo o que representam para mim e a gratidão que sinto por vós não é possível, nem é descritível e é minha sincera esperança continuar a crescer e tornar-me numa melhor pessoa que vos faça serem tão orgulhosos como eu sou de vocês. À minha mãe, companheira e amiga de todos os tempos por me ajudar a acreditar. Por estar sempre ao meu lado e nunca, em momento algum, ter deixado de acreditar. Ao meu pai, a quem busquei conhecimentos por muitas vezes, porque a sua opinião é sempre a que mais conta, por de uma ou outra forma me fazer sempre ir à luta. Por me fazer querer ser melhor. Pela ajuda toda que me deu para esta dissertação, por meter “a mão na massa” e ajudar.

Ao Paulo, meu amigo, meu confidente, meu apoio de todos os dias. Pela sua paciência, persistência e boa disposição, por depositar em mim uma enorme confiança e expectativa, pela calma, dedicação e entrega demonstradas durante todo o meu percurso, por acreditar nas minhas capacidades e pela sua presença fulcral na minha vida. Agradeço-te pelas horas que retiraste ao teu descanso e ao teu trabalho, pela ausência a que submeteste a tua família para me apoiares. A ti te devo muito! A ti te sou e serei sempre grata!

A todos um meu muito obrigada, do fundo do coração... espero não vos desiludir!

RESUMO

Ao longo dos tempos o uso de argamassas faz parte da construção e desempenha na sua durabilidade um importante papel. As argamassas de cal aérea com adição de materiais pozolânicos não são portanto algo recente, dado que no passado estas adições tinham o objectivo de aumentar as propriedades das argamassas de cal aérea ampliando o seu campo de aplicação nomeadamente em ambientes húmidos. No entanto com o aparecimento de novas técnicas e materiais, esta prática caiu em desuso e foram perdidos conhecimentos sobre o uso e aplicação de argamassas de cal aérea com adição de materiais pozolânicos.

Actualmente tem-se verificado que as técnicas e soluções de construção que têm vindo a ser aplicadas em intervenções em edifícios antigos nem sempre são compatíveis com os materiais existentes e em vez de contribuírem para uma preservação têm em alguns casos acelerado a degradação desses edifícios.

A necessidade de recuperar conhecimentos perdidos em relação às argamassas de cal aérea nomeadamente com adição de materiais pozolânicos com vista a preservar e aumentar a durabilidade num domínio sustentável, tem levado à elaboração e desenvolvimento de muitos estudos e trabalhos nesse sentido.

O desempenho de uma argamassa traduz-se na sua durabilidade. As argamassas permitem trocas de meios interiores para exteriores, devido à sua porosidade, e possuem ainda um conjunto de aplicações possíveis. Vários são os factores que conduzem a escolha de determinada argamassa, tais como o fim a que se destina, local em que irá ser aplicada etc. Para um bom desempenho é essencial adequar a argamassa à situação e condição em que vai ser aplicada. Para isso de muito dependem as condições de amassadura e procedimentos de aplicação, assim como as condições de cura.

O presente trabalho teve como objectivo estudar a acção pozolânica das cinzas casca de arroz numa argamassa de cal aérea e avaliar como as condições de cura influenciam o desempenho de argamassas de cal aérea com adição de cinzas de casca de arroz.

As condições de cura podem ser responsáveis por alterações importantes nas características das argamassas com elas formuladas, considera-se pertinente e actual o desenvolvimento de investigação neste domínio.

Para tal foram preparadas duas formulações, com as quais se preparam provetes prismáticos e tijolos nos quais se aplicaram as argamassas como revestimento e submetidos a diferentes condições de cura: cura ambiente, cura seca e cura húmida.

Durante a fase de preparação de provetes procedeu-se a um conjunto de ensaios que permitiu caracterizar as argamassas no estado fresco e posteriormente às respectivas curas, em estado endurecido. A par com as formulações referidas foi preparada uma argamassa de cal com formulação semelhante que serviu de referência.

Este trabalho desenvolvido, que contou com diversas fases, desde a pesquisa, desenvolvimento de campanhas laboratoriais e obtenção de dados, conduziu a resultados e conclusões que permitiram relacionar como as condições de cura influenciam o desempenho das argamassas de cal aérea e cinza de casca de arroz.

Palavras chave: argamassa de cal aérea, cinza de casca de arroz, acção pozolânica, condições de cura.

ABSTRACT

Across the time the use of mortars is part of construction and plays an important role in the building durability. The lime mortar with pozzolanic materials addition is therefore not a new concept, since the past, these additions were intended to enhance the properties of lime mortars broadening its scope particularly in humid environments.

However with the emergence of new techniques and materials, this practice fell into disuse and was lost knowledge on the use and application of lime mortar with added pozzolanic materials. Today has verified that the techniques and building solutions that have been applied in interventions in older buildings are not always compatible with existing materials and instead contribute to a preservation in some cases have accelerated the deterioration of these buildings. The need to recover lost knowledge regarding particular lime mortars with the addition of pozzolanic materials to preserve and enhance the durability in field development, has led to the establishment and development of many studies and work accordingly.

The performance of a mortar is reflected in its durability. Allow exchanges of mortar means interior or exterior, due to its porosity, and also have a range of possible applications. There are several factors driving the choice of a particular mortar, such as the purpose it is intended, where they will be applied etc.. For good performance is essential to match the mortar position and condition that will be applied. For that much depends on the conditions of mixing and application procedures, and curing conditions.

The present study was to investigate the action of pozzolanic rice hull ash in a mortar of lime and assess how cure conditions influencing the performance of lime mortars with the addition of rice husk ash.

The curing conditions may be responsible for major changes in the characteristics of mortars made with them, it is considered relevant and current development of research in this field.

For this two formulations prepared, with which they prepare prismatic specimens and bricks where the mortar is applied as a coating and subjected to different curing conditions: curing environment, wet dry cure and healing.

During the preparation of samples was conducted one set of tests that allowed us to characterize the mortars in the fresh state and subsequently to their healing, in the hardened state. Along with the courses listed was prepared with a lime mortar similar formulation used as a reference.

This work, which included several phases, from research, campaign development and acquisition of laboratory data, led to results and conclusions are allowed to relate to curing conditions influence the performance of mortar lime and rice husk ash.

Keywords: mortar of lime, rice husk ash, pozzolanic action, curing conditions.

ÍNDICE

1. Introdução	11
1.1. Enquadramento e justificação	11
1.2. Objectivos	13
1.3. Organização do texto	14
2. Argamassas de Cal Aérea com Adição de Cinza de Casca de Arroz	15
2.1. Considerações Gerais	15
2.2. Argamassas de Cal aérea	16
2.3. Materiais pozolânicos	22
2.4. Cinza de Casca de arroz	23
2.5. Reactividade pozolânica.....	25
2.6. Avaliação da Reactividade pozolânica	28
3. Apresentação e descrição do plano de ensaios	31
3.1. Considerações gerais	31
3.2. Descrição do plano de ensaios	32
3.3. Constituintes das argamassas	36
3.4. Produção das argamassas.....	44
3.4.1. Provetes Prismáticos	45
3.4.2. Argamassas como camada de revestimento de tijolos	46
3.5. Caracterização das argamassas no estado fresco	46
3.5.1. Avaliação da consistência	46
3.5.2. Avaliação da retenção de água	48
3.5.3. Avaliação da exsudação.....	50
3.5.4. Determinação da massa volúmica aparente	50
3.6. Caracterização das argamassas no estado endurecido	51
3.6.1. Caracterização mecânica	51
3.6.1.1. Velocidade de propagação de Ultra-sons	51
3.6.1.2. Determinação da resistência mecânica à flexão e compressão	52
3.6.1.3. Dureza superficial: Esclerómetro Pendular	53
3.6.2. Caracterização física	55

3.6.2.1.	Absorção água por capilaridade.....	55
3.6.2.2.	Porosidade e massa volúmica.....	56
3.6.2.3.	Absorção de água sob baixa pressão	57
3.6.2.4.	Secagem após imersão em água.....	58
3.6.3.	Outras Características	59
3.6.3.1.	Espessura carbonatada.....	59
3.6.3.2.	Determinação da susceptibilidade à fendilhação/fissuração	60
3.6.3.3.	Aderência e Compatibilidade entre suporte e argamassa	61
3.7.	Condições de cura.....	63
4.	Estudo da influência da granulometria da cinza na reactividade pozolânica - Fase 1	65
4.1.	Considerações gerais.....	65
4.2.	Preparação e caracterização da cinza de casca de arroz	66
4.3.	Argamassas estudadas na Fase 1 e sua caracterização no estado fresco.....	73
4.4.	Avaliação da reactividade pozolânica das argamassas da Fase 1.....	76
4.5.	Seleção das argamassas a estudar na Fase 2	78
5.	Estudo da influência das condições de cura - Fase 2	80
5.1.	Considerações gerais.....	80
5.2.	Estudo da influência das condições de cura nas características físicas das argamassas	80
5.2.1.	Avaliada em provetes prismáticos.....	80
5.2.2.	Avaliada nas argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos .	86
5.3.	Estudo da influência das condições de cura nas características mecânicas das argamassas	88
5.3.1.	Avaliada em provetes prismáticos.....	88
5.3.2.	Avaliada nas argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos .	91
5.4.	Outras características.....	92
5.4.1.	Espessura carbonatada.....	92
5.4.2.	Resultados da determinação da susceptibilidade à fendilhação e fissuração	93
6.	Conclusões.....	96
7.	Proposta de desenvolvimentos futuros	99
	Bibliografia	100

Anexos.....	109
-------------	-----

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Ciclo da cal, (VELOSA, 2007).....	18
Figura 2.2 – Esquema de arranjo de partículas sólidas de uma argamassa e respectiva porosidade. a) Baixo índice água/ligante b) Elevado índice água/ligante ((PEREIRA, 2008))....	21
Figura 3.1 – Esquema de ensaio dos provetes prismáticos	35
Figura 3.2 – Esquema de ensaio dos tijolos	36
Figura 3.3 – Aspecto das embalagens de Cal Aérea Calcitrata CL90 e da cal em pó	37
Figura 3.4 – Classificação das cals de construção relativamente à composição química, adaptado de (PEREIRA, 2005)	37
Figura 3.5 – Aspecto da areia de rio após secagem.....	38
Figura 3.6 – Separador utilizado para preparação de amostras de agregado	38
Figura 3.7 – Balança de precisão e peneiros e amostra de areia peneirada e separada por granulometrias.....	39
Figura 3.8 – Alguns dos materiais utilizados para avaliar a massa volúmica aparente do agregado: Balança, pá, recipiente de 1L.....	40
Figura 3.9 – Enchimento do recipiente de 1litro (b) e pesagem do conjunto (b)	40
Figura 3.10 – Aspecto da cinza de casca de arroz comercial (C)	41
Figura 3.11 – Material Retido no peneiro 500 μ m (desperdício)	42
Figura 3.12 – Aspecto da cinza antes e depois da peneiração através de peneiro 500 μ m	43
Figura 3.13 – Misturadora utilizada para a produção de argamassas	44
Figura 3.14 - Esquema de introdução dos materiais em função do tempo de preparação das argamassas, (baseado em (COUTINHO, 1999)).....	45
Figura 3.15 – Fases de preparação dos provetes prismáticos	45
Figura 3.16 - Preparação dos tijolos: colocação no molde (a) e humedecimento com borrifador (b)	46
Figura 3.17 – Humedecimento da mesa saltante (a) e molde tronco-cónico (b)	47
Figura 3.18 - Fases de execução do ensaio de espalhamento/avaliação da consistência	47
Figura 3.19 – Fases de execução do ensaio de espalhamento/avaliação da consistência	47
Figura 3.20 – Esquema de ensaio, (MARTINS, 2008).....	48
Figura 3.21 – Material utilizado para a avaliação da retenção de água (a) e pormenor dos filtros e da gaze (b)	48

Figura 3.22 – Nivelamento da argamassa no molde (a) e aplicação da gaze (b)	49
Figura 3.23 – Inversão do conjunto (a), colocação do peso em cima (b) e aspecto final da gaze e filtros (c)	49
Figura 3.24 – Provetes com argamassa para avaliação da exsudação (a) e pormenor da exsudação (b)	50
Figura 3.25 – Material utilizado para determinar a velocidade de Ultra-sons	51
Figura 3.26 – Esquema de marcação de pontos para ensaio de ultra-sons	51
Figura 3.27 – Esquema de ensaio de ultra-sons em tijolos (pontos de ensaio)	52
Figura 3.28 – Esquema de colocação dos provetes (EN1015-11, 1999)	52
Figura 3.29 – Figura ilustrativa do ensaio à flexão	52
Figura 3.30 – Figura ilustrativa do ensaio à compressão	53
Figura 3.31 – Esclerómetro pendular	54
Figura 3.32 – Localização dos pontos para ensaiar a dureza superficial (a) e colocação do esclerómetro (b)	54
Figura 3.33 – Sequência de procedimentos do ensaio de determinação de absorção de água por capilaridade: (a) instantes iniciais do ensaio, (b) reposição do nível de água, (c) acondicionamento dos provetes, (d) aspecto dos provetes após absorção de água em toda a sua altura	55
Figura 3.34 – Provetes no exsiccador ligado a bomba de vácuo e entrada de água para o exsiccador	56
Figura 3.35 – Avaliação da absorção de água em argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos	57
Figura 3.36 – Preparação de provetes para ensaio de secagem	58
Figura 3.37 - Exemplo de curva de secagem ((AGOSTINHO, 2008))	58
Figura 3.38 – Pulverização da superfície com solução de fenolftaleína (a) aspecto da espessura carbonatada (b) e reacção em provetes de cura húmida (c)	60
Figura 3.39 – Tijolo em que ocorreu fendilhação	61
Figura 3.40 – Fissurómetro (a) e vista de uma fissura através do fissurómetro (b)	61
Figura 3.41 – Condicionamento de provetes e tijolos em cura ambiente	64
Figura 4.1 – Aspecto da cinza CP500 e CPm75	70
Figura 4.2 – Aspecto da cinza CM500, CM250, CM125 e CM75	70
Figura 5.1 – Esquema de ensaio para avaliação da dureza superficial	92

Figura 5.2 – Argamassa P500 CA e P250 CA – Cura Ambiente – Fissuração	94
Figura 5.3 - Argamassa P250 CS – Cura Seca – Fissuração.....	95
Figura 5.4 – Argamassa P250 CS – Cura Seca – Fissuração.....	95

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Composição química de uma Cinza de Casca de Arroz, segundo (HEWLETT, 2003)	24
Tabela 2.2 – Classificação Pozolânica de materiais baseada na medição da condutividade, (LUXÁN, et al., 1989)	30
Tabela 3.1 – Formulação de argamassas estudadas na Fase i da campanha experimental	34
Tabela 3.2 – Análise química e física da Cal Aérea CL90	37
Tabela 3.3 – Massa volúmica aparente da areia de rio	40
Tabela 3.4 – Análise química de C e CP500	44
Tabela 4.1 – Formulação das argamassas estudadas na Fase 1	66
Tabela 4.2 – Especificação dos ensaios realizados por tipologia de cinza	71
Tabela 4.3 – Avaliação da superfície específica pelo método de Blaine	72
Tabela 4.4 – Caracterização no estado fresco	73
Tabela 4.5 - Massa Volúmica Aparente das argamassas estudadas	75
Tabela 4.6 – Tabela resumo dos resultados obtidos na Fase 1	76
Tabela 5.1 – Formulação das argamassas estudadas na Fase 2	80
Tabela 5.2 – Valores de porosidade e massa volúmica de P500	84
Tabela 5.3 - Valores de porosidade e massa volúmica de P250	84
Tabela 5.4 – Quantidade de água absorvida (Método do Cachimbo)	86
Tabela 5.5 – Caracterização mecânica e espessura carbonatada (28 dias)	88
Tabela 5.6 – Velocidade de ultra-sons	91
Tabela 5.7 – Dureza superficial das Argamassas	91
Tabela 5.8 – Valores da fissuração nas argamassas de revestimento dos tijolos	94

Índice de Equações

Equação 2.1 – Reacção de calcinação da Cal.....	16
Equação 2.2 – Reacção de hidratação	17
Equação 2.3 – Reacção de endurecimento da Cal.....	17
Equação 3.1 – Cálculo da massa volúmica aparente dos agregados	40
Equação 3.2 – Cálculo do espalhamento.....	47
Equação 3.3 – Cálculo do diâmetro médio de espalhamento.....	47
Equação 3.4 – Cálculo da massa de água presente na argamassa	49
Equação 3.5 – Cálculo da retenção de água	49
Equação 3.6 – Cálculo da percentagem de exsudação.....	50
Equação 3.7– Massa volúmica aparente da argamassa fresca	50
Equação 3.8 – Cálculo da tensão de rotura à flexão	53
Equação 3.9 – Valor da tensão de compressão	53
Equação 3.10 – Cálculo da porosidade aberta	56
Equação 3.11 – Cálculo da Massa volúmica real	56
Equação 3.12 – Cálculo da Massa volúmica aparente	56
Equação 3.13 – Fórmula representativa da curva de secagem.....	59
Equação 3.14 – Cálculo do índice de secagem	59

Índice de Gráficos

Gráfico 3.1 – Curva granulométrica da areia de rio	39
Gráfico 3.2- Curvas granulométricas da cinza de casca de arroz comercial (C) e da cinza passada em 500 μ m (CP500)	43
Gráfico 4.1 - Curvas granulométricas da cinza comercial (C) e de CP500 e Possível curva de CP250.....	68
Gráfico 4.2 - Curvas granulométricas de CP500 antes e após várias fases do processo de moagem (CPm15, CPm30, CPm60 e CPm75)	68
Gráfico 4.3 - Transformação nas curvas granulométricas de CP500	69
Gráfico 4.4 – Curvas granulométricas de CPm75 CM500, CM250, CM125 e CM75	71
Gráfico 4.5 – Análise Granulométrica da Cinza Comercial (C) - Método De Peneiração (Lavagem e Peneiração) (CDAC, 2010).....	72
Gráfico 4.6 – granulometria das cinzas CM75, CM125, CM250 e CM500 Convertidas em % Cumulativa de material Passado (CDAC, 2010)	72
Gráfico 4.7 - Relação água/mistura ligante para a obtenção de um espalhamento de 165 \pm 5mm ⁷³	
Gráfico 4.8 – Influência da máxima dimensão da cinza na Relação água/(mistura ligante) Para a obtenção de consistência por espalhamento semelhante	74
Gráfico 4.9 - Retenção de água	74
Gráfico 4.10 – Avaliação da Exsudação	75
Gráfico 4.11 – Tensão de rotura à flexão em provetes na Fase 1, aos 14 e 28 dias	76
Gráfico 4.12 – Tensão de rotura à compressão em provetes aos 14 e 28 dias	77
Gráfico 4.13 – Velocidade de propagação de U.S. em provetes prismáticos, aos 28 dias	77
Gráfico 4.14 - Influência da Máxima dimensão da cinza de casca de arroz na resistência à compressão e flexão (14 e 28 dias)	78
Gráfico 5.1 – Argamassa P250 - Absorção de água por capilaridade	81
Gráfico 5.2 - Argamassa P500 - Absorção de água por capilaridade	81
Gráfico 5.3 – Porosidade aberta	83
Gráfico 5.4 – Massa Volúmica real e aparente (Argamassas P500)	84
Gráfico 5.5 - Massa Volúmica real e aparente (Argamassas P250)	84

Gráfico 5.6 – Ensaio de Secagem P250	85
Gráfico 5.7 - Ensaio de Secagem P500	85
Gráfico 5.9 – Absorção de água sob baixa pressão em argamassa de revestimento de tijolos de Cal e tipo P250 – Método dos cachimbos.....	87
Gráfico 5.10 - Absorção de água sob baixa pressão em argamassa de revestimento de tijolos de Cal e tipo P500 – Método dos cachimbos.....	87
Gráfico 5.11 - Tensão de rotura à Compressão e Flexão em provetes prismáticos aos 28 dias para as diferentes condições de cura estudadas.....	88
Gráfico 5.12 – Velocidade de Propagação de ultra-sons.....	89
Gráfico 5.12 – Espessura Carbonatada	93

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E JUSTIFICAÇÃO

A produção e aplicação de argamassas assumem um papel importante não só no âmbito da construção nova, como também na reabilitação, sendo que na reabilitação de edifícios antigos as argamassas de cal aérea constituem-se como soluções potencialmente mais compatíveis face às que podem ser obtidas por recurso a argamassas cimentícias.

Na área da construção é essencial que se tenha a consciência que o novo nem sempre é o melhor, reabilitar e reconstruir tomam uma importância de cada vez maiores proporções.

As constantes mudanças ambientais fruto da deterioração do meio provocada pela acção do homem obrigam a repensar a atitude que se toma no dia-a-dia, nomeadamente no que se refere ao sector da construção, procurando que esta actividade seja desenvolvida de forma a garantir o respeito pelos princípios gerais da sustentabilidade.

Se às boas práticas construtivas se conseguirem aliar as boas práticas ambientais contribui-se para a sustentabilidade do meio. Reabilitar o velho utilizando um material que se encontra em fim de ciclo é uma opção que se mostra cada vez mais viável. Seguindo este pressuposto, é importante conhecer os materiais presentes nas construções existentes com o objectivo de proceder à selecção adequada daqueles que deverão ser utilizados na sua reabilitação de modo a garantir o recurso a soluções compatíveis.

As argamassas cujo principal ligante é a cal aérea foram utilizadas na construção desde o passado remoto até meados do século passado, assim como a adição de materiais com características pozolânicas a estas argamassas com o objectivo de incrementar a sua durabilidade e fazer face às dificuldades de endurecimento das argamassas de cal em ambientes húmidos.

No entanto, a rápida e generalizada utilização de ligantes hidráulicos foi responsável pela perda de conhecimentos relativos à prática de construção que envolvia o recurso a cal aérea e materiais pozolânicos. As consequências deste facto são particularmente importantes em intervenções efectuadas em edifícios antigos onde a utilização de novas argamassas obtidas com materiais não tradicionais tem se revelado, em muitos casos, pouco compatível com as argamassas e paredes antigas.

A consciência da necessidade de readquirir conhecimentos perdidos relativos à utilização de argamassas de cal aérea e à acção de adições com características pozolânicas em argamassas de cal tem levado nos últimos anos ao incremento da investigação neste domínio.

As argamassas são materiais porosos utilizados em aplicações e situações muito diversas na construção. O desempenho das argamassas depende não só das características e proporções dos componentes utilizados na sua formulação como também de um conjunto de outros factores, nomeadamente das condições de amassadura, dos procedimentos de aplicação e das condições de cura.

O interesse de conferir alguma hidraulicidade às argamassas formuladas à base de cal aérea associado às preocupações relacionadas com a sustentabilidade da actividade de construção têm justificado o desenvolvimento de estudos de formulações de argamassas de cal aérea com incorporação de subprodutos industriais com características pozolânicas, (FARIA RODRIGUES, 2004), (MOROPOULOU, et al., 2005), (FRAGATA, et al., 2007), como é o caso da cinza resultante da calcinação da casca de arroz.

O interesse na utilização deste subproduto fica a dever-se ao facto de poder incrementar algumas características das argamassas de cal (ALMEIDA, 2008), (ALMEIDA, et al., 2007), permitir a reutilização de subprodutos industriais (BRONZEOAK, 2000) e levar à adopção de soluções que podem envolver uma redução do consumo de energia quando comparada com a produção de outros materiais (CHANDRASEKHAR, et al., 2003).

Face a estas potencialidades, torna-se essencial conhecer os factores condicionantes da reactividade pozolânica das cinzas, de forma a maximizar a sua potencial utilização na formulação de argamassas.

O estudo tem como objectivo estudar a acção pozolânica conferida pela adição de cinza de casca de arroz em argamassas de cal aérea e avaliar a influência das condições de cura no desempenho das argamassas de cinza de casca de arroz.

As cinzas de casca de arroz são um subproduto que pode apresentar características pozolânicas e cujo conhecimento relativamente à sua utilização como adição em argamassas de cal aérea se encontra pouco estudado. Este facto aliado aos resultados que têm sido obtidos em estudos desenvolvidos com a utilização de outras adições pozolânicas terem revelado que as condições de cura podem ser responsáveis por alterações importantes nas características das argamassas com elas formuladas, considera-se pertinente e actual o desenvolvimento de investigação neste domínio.

O presente estudo enquadra-se num projecto de investigação mais vasto que tem como objectivo estudar formulações de argamassa de cal aérea com cinzas de casca de arroz com potencial interesse para aplicação em revestimentos de paredes de edifícios antigos. No âmbito deste projecto foi desenvolvida a presente dissertação e encontra-se em fase de conclusão a dissertação de Mestrado intitulada “Argamassas de cal aérea com incorporação de cinzas de casca de arroz. Estudo da influência da granulometria das cinzas”. Estas duas dissertações tiveram uma fase de desenvolvimento comum, que teve como objectivo definir a granulometria, ou granulometrias, da cinza de casca de arroz a utilizar no desenvolvimento do projecto. No

âmbito dos estudos realizados para a selecção da granulometria(s) a utilizar na formulação das argamassas a estudar encontra-se publicado o artigo intitulado *“Argamassas de cal aérea e cinza de casca de arroz. Influência da finura da cinza na reactividade pozolânica”*, (PINTO, et al., 2010).

1.2. OBJECTIVOS

As argamassas são utilizadas em várias situações e com diversas funções na construção. A adequada selecção de uma argamassa para uma dada aplicação reflecte-se em economia e durabilidade. O desempenho de uma argamassa depende de vários factores, nomeadamente da sua composição, compatibilidade com o substrato, das condições de aplicação e de cura.

O presente trabalho tem como principal objectivo estudar a influência das condições de cura no desempenho de argamassas de cal aérea. Para dar resposta a este objectivo foi necessário proceder ao desenvolvimento de um estudo com o objectivo de avaliar a influência da granulometria da cinza na acção pozolânica. Os resultados desta fase do trabalho, permitiu seleccionar duas argamassas de cal aérea formuladas com cinza de casca de arroz com granulometria diferente sobre as quais incidiu a análise da influência das condições de cura. As argamassas formuladas com cinza de casaca de arroz foram submetidas às seguintes condições de cura: seca, húmida e em ambiente de laboratório.

Em ambas as fases do trabalho (Fase 1 – estudo da influência da granulometria; Fase 2 – estudo da influência das condições de cura) foi tomada como referência uma argamassa de cal formulada com a mesma cal aérea e areia das utilizadas nas argamassas com cinza de casca de arroz, bem como com consistência semelhante e igual proporção cal/areia.

Para avaliar a influência das condições de cura nas argamassas, serão avaliados e caracterizados vários parâmetros das duas argamassas submetidas a diferentes condições de cura, efectuando diversos ensaios sobre os provetes preparados. Serão preparados provetes prismáticos em moldes laboratoriais e preparados provetes de argamassa aplicada em tijolos, que procuram reproduzir a aplicação de argamassas de cal aérea com adição de cinza de casca de arroz como argamassas de revestimento. Pretende-se com isto identificar que factores e como afectam a forma de aplicação em obra de argamassas de cal aérea com cinzas de casca de arroz.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A presente dissertação encontra-se organizada em sete capítulos.

No primeiro capítulo efectua-se o enquadramento e justificação da necessidade de se abordar o tema, estabelecendo-se ainda os objectivos da dissertação.

No capítulo 2 é realizada uma abordagem teórica do estado de conhecimento existente no âmbito das argamassas de cal aérea com adição de cinza de casca de arroz. Inicialmente caracterizam-se argamassas de cal aérea e os seus constituintes, de forma sumária, para depois se introduzirem os materiais pozolânicos, mais concretamente a Cinza de Casca de Arroz. Ainda neste capítulo são enumerados os métodos de avaliação da reactividade pozolânica.

O Capítulo 3 apresenta e descreve o plano de ensaios, dividindo a campanha experimental em duas fases distintas (Fase 1 – estudo da influência da granulometria; Fase 2 – estudo da influência das condições de cura). Aqui são apresentadas as formulações de argamassas estudadas e as condições de cura estudadas, bem como ensaios realizados em cada fase do processo.

O Capítulo 4 apresenta a análise dos resultados obtidos na Fase 1 da campanha experimental e justifica a selecção das argamassas estudadas na Fase 2. Neste capítulo é descrita e caracterizada a preparação da cinza utilizada, sendo caracterizadas as argamassas estudadas no estado fresco e a reactividade da cinza de casca de arroz.

O Capítulo 5 aborda a influência das condições de cura nas características de argamassas formuladas com cinza de casca de arroz, através da análise dos resultados dos ensaios apresentados no Capítulo 3. Este estudo baseou-se na influência das condições de cura em características físicas, mecânicas e outras, das argamassas seleccionadas e para três condições de cura diferentes.

O capítulo 6 sintetiza a análise dos resultados obtidos, apresentando as conclusões de todo o trabalho desenvolvido.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta propostas para desenvolvimentos futuros.

2. ARGAMASSAS DE CAL AÉREA COM ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

De acordo com o Dicionário Técnico da European Mortar Industry Organization (EMOdic, 2001) uma argamassa é uma *“mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, cargas, aditivos e/ou adjuvantes.”*

A utilização de argamassas na construção, ora como aglutinante de outros materiais ora como revestimento, não é algo recente, dado que tem sido prática corrente ao longo dos tempos nas diversas construções um pouco por todo o mundo. As argamassas apresentam um papel importante nas construções, que se reflecte na durabilidade das construções, devido às funções de protecção e de aglutinação que podem desempenhar.

Ao longo do tempo tem-se registado a evolução dos métodos construtivos e dos materiais utilizados na construção. Este facto aliado à necessidade de recuperar e reabilitar o património construído obriga à necessidade de procurar intervir de modo a incrementar o estado de conservação em que se encontra o património e eliminar, ou reduzir, os processos de degradação presentes. Para que estes objectivos sejam concretizados é fundamental que os novos materiais e soluções construtivas adoptadas sejam compatíveis com os pré-existentes.

A selecção do ligante a adoptar numa argamassa de reboco deverá depender das características da alvenaria de suporte. Deste modo, o ligante a utilizar em argamassas para rebocos de paredes de edifícios antigos deverá ser tendencialmente a cal aérea, dado que este é o ligante maioritariamente utilizado no passado, antes da descoberta e controlo da hidraulicidade. As argamassas de ligante aéreo são mais deformáveis e porosas do que as argamassas de ligante hidráulico, características importantes quando aplicadas sobre suportes, também eles, com estas características, como é o caso das paredes de alvenaria dos edifícios antigos. Há ainda outros factores que confirmam esta opção, relacionados com a presença de componentes potencialmente agressivos nos ligantes hidráulicos, que podem contribuir para a degradação das alvenarias dos edifícios antigos, ou com questões de autenticidade e compatibilidade material e/ou de aparência estética.

O desenvolvimento lento do processo de presa e endurecimento da cal aérea, e o facto de este ocorrer devido a reacções de carbonatação, acentua-se quando uma argamassa de cal aérea é aplicada em profundidade, por exemplo no preenchimento de juntas, ou quando é aplicada em ambientes húmidos.

A reduzida resistência mecânica e os longos períodos de endurecimento das argamassas de ligante aéreo levam à necessidade de procurar conferir alguma hidraulicidade às argamassas formuladas com cal aérea, nomeadamente através do recurso a adições pozolânicas.

De facto, a utilização de argamassas que incorporam materiais pozolânicos não é uma prática recente e o tempo tem comprovado que apresentam uma elevada durabilidade. Em inúmeras construções Romanas ainda existentes é possível encontrar argamassas de cal aérea com adição de cinzas vulcânicas em relativo bom estado de conservação.

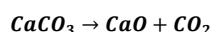
O facto da reacção pozolânica ocorrer na presença de água dota as argamassas de cal aérea de propriedades hidráulicas, permitindo a sua aplicação em condições adversas para o recurso a argamassas formuladas apenas com cal aérea. Outras propriedades das argamassas são alteradas com a presença de adições pozolânicas e neste sentido, vários estudos têm vindo a ser desenvolvidos com o objectivo de incrementar o conhecimento no domínio da utilização de argamassas de cal aérea formuladas com adições pozolânicas.

2.2. ARGAMASSAS DE CAL AÉREA

As argamassas de cal aérea são formuladas com cal aérea, um ou mais agregados finos e água.

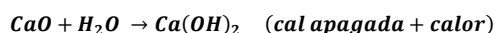
A cal aérea a utilizar deverá satisfazer o disposto na NP EN 459-1. Segundo este documento, as cals aéreas de construção *“são constituídas principalmente por óxido ou hidróxido de cálcio, as quais endurecem lentamente ao ar por reacção com o dióxido de carbono atmosférico. Geralmente não fazem presa dentro de água, visto que não têm propriedades hidráulicas”*.

A cal aérea é obtida pela calcinação de rochas carbonatadas mais ou menos puras, equação 2.1. As impurezas mais frequentes são a sílica e os óxidos de ferro. Estas impurezas podem alterar significativamente as propriedades da cal produzida. As cals podem ser classificadas em gordas (brancas) ou magras (acinzentadas) no que concerne ao grau de impurezas. As cals gordas são as que provêm de calcários quase puros, com o mínimo de 99% de CaCO_3 , enquanto as cals magras derivam de calcários em que o teor de argila e outras impurezas estão compreendidos entre 1 e 5 %. De referir, no entanto que as reacções envolvidas no processo de endurecimento de ambas as cals são as mesmas, (SOUSA COUTINHO, 2006)



EQUAÇÃO 2.1 – REACÇÃO DE CALCINAÇÃO DA CAL

Após esta primeira fase (calcinação) que dá origem à cal viva, segue-se a fase de hidratação ou extinção que não é mais que a adição de água de que resulta uma reacção muito expansiva e exotérmica dando origem à cal apagada ou cal hidratada, Equação 2.2:



EQUAÇÃO 2.2 – REACÇÃO DE HIDRATAÇÃO

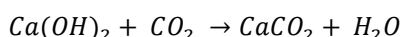
O produto obtido nesta reacção de hidratação é um corpo sólido, amorfo e pulverulento. Segundo a NP EN 459-1, a cal viva designa-se por uma sigla que contém a letra Q e a cal apagada por uma sigla que contém a letra S.

O processo de hidratação ou extinção pode ser conseguido de várias maneiras, (MARTINS, et al., 2006):

- Extinção Espontânea: abandono dos fragmentos de calcário calcinados à acção lenta e contínua da atmosfera, sendo a humidade lenta e espontaneamente absorvida;
- Extinção por Aspersão: rega da cal viva com 25 a 50% de água, cobrindo-a com areia;
- Extinção por Imersão: colocação de pequenos fragmentos de cal viva em sacos de pano ou cestos de verga e mergulhá-los em água;
- Extinção por Fusão: colocação da cal viva num recipiente adequado, lançando sobre ele uma quantidade de água que a cubra totalmente para evitar o contacto com o ar;
- Extinção em Autoclaves: processo industrial em que a cal é introduzida em autoclaves onde é possível controlar a pressão e a temperatura durante o processo de extinção

No caso particular das cals dolomíticas hidratadas, o grau de hidratação é identificado por S1 (semi-hidratadas) ou S2 (totalmente hidratadas), de acordo com a NP EN 459 – 1.

O endurecimento da cal aérea ocorre através de reacções de carbonatação, Equação 2.3. Como refere Mascarenhas, “*com o tempo a cal dos rebocos reage com o dióxido de carbono existente na atmosfera transformando parte do reboco numa película rígida quimicamente análoga à pedra de calcário que deu origem*”, (MASCARENHAS, 2007).



EQUAÇÃO 2.3 – REACÇÃO DE ENDURECIMENTO DA CAL

A Figura 2.1 apresenta de forma esquemática o ciclo da cal:

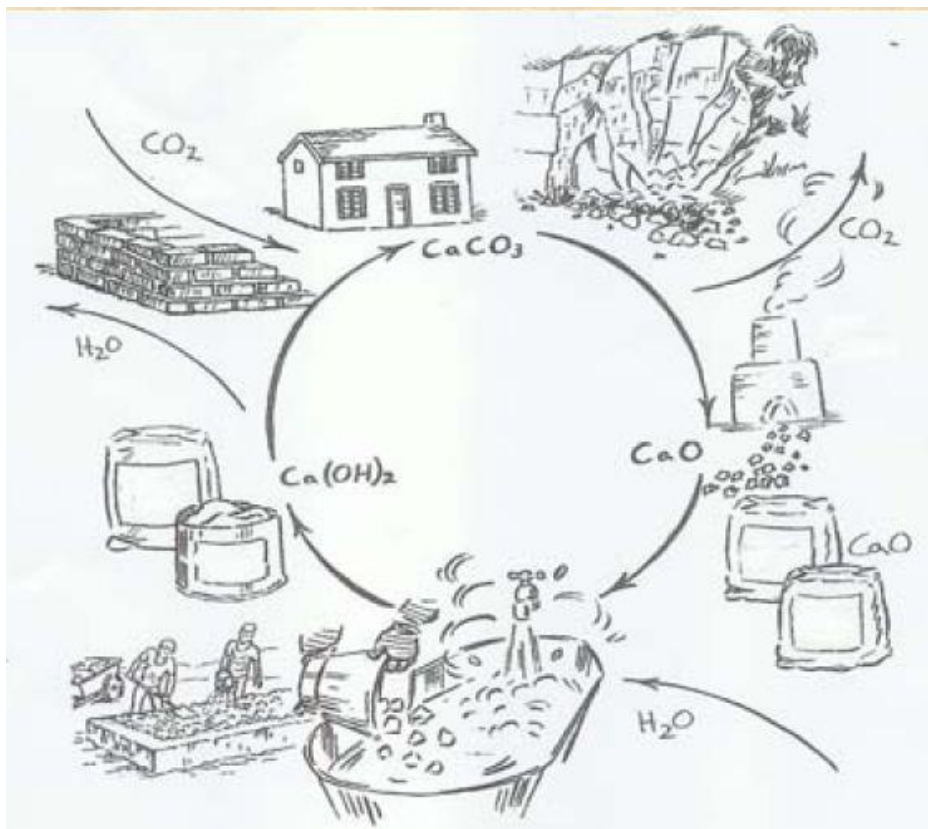


FIGURA 2.1 - CICLO DA CAL, (VELOSA, 2007)

Devido ao facto do agregado ser o constituinte maioritário das argamassas, as suas características são determinantes para as propriedades da mistura no estado fresco e endurecido. Os agregados são muito vezes apresentados como sendo o “esqueleto” das argamassas, (BAUER, et al., 2005), dada a sua relevância na limitação da contracção durante a secagem, na estabilidade, durabilidade e *resistência mecânica*, (STEFANIDOU, et al., 2005). Apesar de os agregados não interferirem na reacção de endurecimento da argamassa eles contribuem para reduzir a retracção, (COSTA, 2008), (CRUZ, 2008), (MARGALHA, et al., 2007).

Os agregados utilizados nas argamassas são agregados finos. Denomina-se de fino o agregado constituído por partículas maioritariamente inferiores a 5mm. O agregado fino pode ser de origem natural, quando é de origem sedimentar, ou obtido por processos de britagem, (COUTINHO, 1999).

Os estudos desenvolvidos por Fuller demonstraram que a resistência mecânica das argamassas formuladas com a mesma dosagem de ligante (cimento) dependia da distribuição da dimensão das partículas de agregado. Fuller concluiu que a distribuição granulométrica tem influência na compacidade das argamassas, mostrando que quanto maior a compacidade maior é a resistência mecânica, (FÜLLER, 1907) citado por (CARNEIRO, et al., 1997). (CARNEIRO, et al., 1999) referindo-se a estudo efectuado por (FÜLLER, 1907) menciona que a utilização de um

agregado constituído por partículas de diversas, os mais finos preenchem os vazios deixados entre os maiores e que isso faz aumentar a resistência mecânica.

(FARIA, 2009), recomenda a utilização de areias “*pouco monogranulares*”, uma vez que se houver continuidade da curva granulométrica do agregado garante-se que os espaços vazios deixados entre partículas de maiores dimensões são preenchidos pelas partículas de dimensões menores, o que melhora as características das argamassas. Agregados constituídos por partículas de maiores dimensões contribuem para a redução da susceptibilidade da argamassa em fendilhar e agregados constituídos por partículas menores dimensões contribuem para a redução da porosidade, índice de vazios e a absorção de água das argamassas e, como consequência, para a redução da quantidade necessária de ligante. É no entanto aconselhável que a maior concentração de grãos esteja nas granulometrias médias, isto é, não deve ser uma areia com grande percentagem de grãos muito finos nem grãos muito grossos, de forma a garantir melhor compacidade e trabalhabilidade. (PEREIRA, 2008), (CRUZ, 2008). (PENAS, 2008) e (BOTELHO, 2003) aconselham agregados que apresentem granulometria contínua e bem equilibrada com uma percentagem de elementos finos da ordem de 15%. (CARNEIRO, et al., 1997), citando estudos efectuados por (FURNAS, 1931), refere que “*areia de **granulometria** muito uniforme, independentemente do formato dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa.*”

Além da granulometria, também a **forma** das partículas influencia a porosidade das argamassas. (LANAS, et al., 2003) referem que, quando associado a uma boa distribuição da curva granulométrica, quanto mais anguloso for o agregado melhor, uma vez que melhora a distribuição dos elementos nas argamassas, havendo um preenchimento mais eficaz dos vazios e como consequência aumenta a resistência mecânica e diminui a retracção. Por sua vez agregados de forma arredondada garantem melhor deslizamento entre si e entre os restantes constituintes das argamassas o que melhora a trabalhabilidade.

(CARNEIRO, et al., 1999) refere que (FÜLLER, 1907) concluiu com base em estudo empírico que, quando os agregados têm forma arredondada a argamassa final é mais densa que quando o agregado é britado, anguloso ou de forma irregular, sendo que, no entanto, neste último caso consegue-se argamassas com maior resistência mecânica, uma vez que existe maior aderência entre ligante e agregado.

(PAPAYIANNI, et al., 2006) constatou nos seus estudos que a **relação entre a quantidade de ligante e agregados** existentes numa argamassa influencia os resultados no estado endurecido de uma forma algo contraditória. Quanto maior for essa razão maior a estabilidade da argamassa e menor as deformações a longo prazo, no entanto se a quantidade de agregado aumentar face à de ligante melhor é em termos de resistência mecânica. Assim, verifica-se que é importante estimar correctamente os traços das argamassas para que não haja uma perda substancial de uma das características em detrimento das outras.

No Guia das Argamassas nas Construções de (GUIMARÃES, et al., 2004) é mencionado um teste rápido para avaliar a qualidade de uma areia. Para este teste é necessária uma garrafa transparente ou uma proveta e a areia que se quer avaliar. Coloca-se metade da altura de areia na garrafa e três quartos de água, de seguida tapa-se a garrafa (ou proveta) e agita-se vigorosamente (90 vezes no sentido horizontal). Terminados os passos descritos anteriormente deixa-se repousar a mistura durante 20 minutos. Findo esse tempo mede-se com o auxílio de uma régua a altura da camada de areia em repouso (h_1) e a altura da camada de finos (h_2). Caso não haja uma camada de finos e se apresente unicamente uma camada de areia e uma de água pode considerar-se que a areia é de boa qualidade e encontra-se limpa (relação $h_2/h_1=1$). Se se verificar que existem 3 camadas distintas, em que uma é de areia, outra de água e outra de água com finos em suspensão ($h_2/h_1 \leq 0,75$), então considera-se que a areia não tem qualidade para ser utilizada e é tanto pior quanto maior for a camada intermédia (água turva com finos)

(FARIA, 2009) faz sobressair a importância de se controlar a **quantidade de argila** presente nas areias utilizadas, uma vez que em excesso poderá causar problemas de retracção e redução da permeabilidade ao vapor de água. Este é um factor que deve ser bem avaliado, uma vez que a existência em excesso de argila pode afectar negativamente a ligação areia-cal. Refira-se que, quando em quantidades diminutas a argila faz aumentar a trabalhabilidade uma vez que se caracteriza por se apresentar em forma de finos. Com isto faz diminuir o número de vazios e aumentar as características de resistência mecânica, (SANTOS, 2009), (PENAS, 2008).

A água apresenta-se como um dos constituintes das argamassas que assume várias **funções**. Segundo (MASCARENHAS, 2007), as funções da água de amassadura da argamassa são molhar os agregados, participar em reacções de endurecimento, conferir a trabalhabilidade adequada à aplicação, sendo que quando utilizada em excesso, ao evaporar pode provocar retracções e fissuras.

(MASCARENHAS, 2007) refere alguns cuidados a ter na escolha da água a utilizar, nomeadamente, o facto de esta não dever ter sais dissolvidos, não deverá ter matéria orgânica ou ser demasiado pura, sendo que na primeira situação poderá provocar a diminuição da resistência mecânica da argamassa e no último por dissolver demasiado a cal e com o tempo poder provocar um excesso de fissuração. (BOTAS, 2009), refere que em situações normais a água da rede pública é adequada para o fabrico de argamassas.

A **quantidade** de água presente na formulação de uma argamassa é determinante para as suas características no estado fresco e endurecido e depende do tipo de ligante.

(CAVACO, 2005) refere que se deve “*utilizar o volume mínimo de água de amassadura necessário para garantir a consistência necessária para que a argamassa possa ser devidamente aplicada*”, sendo este processo efectuado através de passos metódicos e

dependendo (a quantidade de água) do tipo de ligante e adições utilizadas. Quando o ligante a utilizar é aéreo as retrações são tanto maiores quanto maior for a quantidade de água utilizada, uma vez que o processo de carbonatação é atrasado atendendo a que a difusão de CO_2 também se torna mais lenta, quando comparado com argamassas com menor quantidade de água.

É importante controlar a quantidade de água de forma “a obter uma argamassa mais consistente, levando a um revestimento mais compacto, com menor tendência para fissurar, menor permeabilidade a água, mas com maior capacidade resistente, embora seja menos trabalhável.” (PENAS, 2008)

A relação entre a quantidade de água e a quantidade de ligante presente numa argamassa tem uma influência grande não só no estado fresco como no estado endurecido, em termos de resistência mecânica e porosidade das argamassas. (PEREIRA, 2008) refere que o excesso de água utilizado para se ter garantia de trabalhabilidade de uma determinada argamassa faz originar porosidade após a secagem: “a água no interior da argamassa está interligada, e portanto, a secagem dessa água origina uma porosidade com bom grau de conexão e ligação ao exterior. (...) Um aumento na água utilizada na execução de argamassas tem como consequência um aumento da porosidade total da argamassa, bem como no tamanho dos poros.” (ver Figura 2.2) Quanto maior a relação água/ligante, maior a quantidade de água e por isso maior a porosidade, tendo como consequência a diminuição de resistência mecânica, a tendência para maior retração e fissuração das argamassas.

(JUNIOR, et al.) referem que a necessidade de água em argamassas formuladas com cinza de casca de arroz diminui com o aumento do grau de moagem.

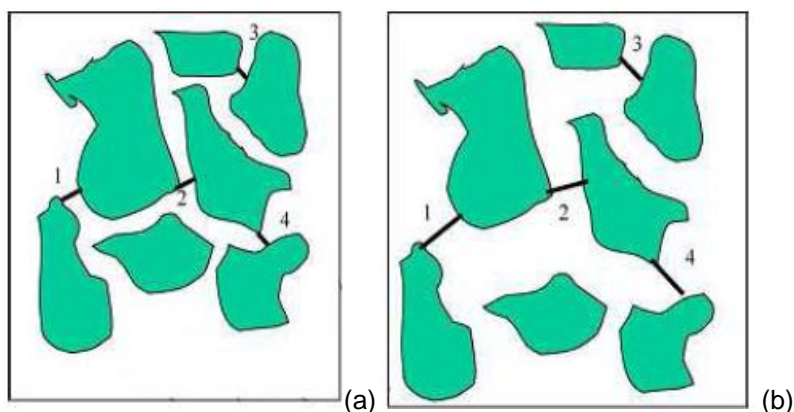


FIGURA 2.2 – ESQUEMA DE ARRANJO DE PARTÍCULAS SÓLIDAS DE UMA ARGAMASSA E RESPECTIVA POROSIDADE.

A) BAIXO ÍNDICE ÁGUA/LIGANTE B) ELEVADO ÍNDICE ÁGUA/LIGANTE ((PEREIRA, 2008))

2.3. MATERIAIS POZOLÂNICOS

De acordo com a ASTM C593-95 (ASTM, 2000) podem definir-se pozolanas como materiais siliciosos ou silico aluminosos com poucas ou nenhuma propriedade cimentícia, mas que quando são finamente divididos, se encontram na presença de humidade e a temperaturas consideradas vulgares, reagem por processos químicos com alcalis e hidróxidos alcalino-terrosos formando ou ajudando a formar compostos com propriedades cimentícias. Esta definição é apresentada em diversos estudos, nomeadamente dos autores (SOUSA COUTINHO, 2006), (MORALES, 1997) e (MEHTA, et al., 1994) e (NEVILLE, 1995) (citados por (LEITE, et al., 2002)).

(MORALES, 1997) citando (MASSAZZA, 1974), define pozolana como *“um material natural ou artificial, rico em sílica e alumina, capaz de reagir com a cal na presença da água, formando, a partir desta reacção, produtos com propriedades cimentantes”*.

Ainda (MORALES, 1997) referindo-se a estudos efectuados por (LEA, 1938), define as pozolanas como *“materiais siliciosos ou sílicoaluminosos os quais, por si mesmos, possuem pouca ou nenhuma actividade aglomerante, porém, finamente divididos e na presença de humidade, apresentam a propriedade de reagirem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, dando origem a compostos aglomerantes hidráulicos”*.

(SOUSA COUTINHO, 2006) define os componentes pozolânicos como *“produtos naturais ou artificiais constituídos essencialmente por sílica e alumina que, apesar de não terem por si só propriedades aglomerantes e hidráulicas, contém constituintes que às temperaturas ordinárias se combinam, em presença da água, com o hidróxido de cálcio e com os diferentes componentes do cimento, originando compostos de grande estabilidade na água e com propriedades aglomerantes.”*

Os materiais pozolânicos podem ser divididos em: naturais e artificiais.

Os materiais pozolânicos naturais são essencialmente rochas que, em condições naturais, apresentam propriedades pozolânicas sem necessitarem de qualquer tipo de tratamento, a não ser a extracção e moagem. Podem ser divididos em dois grupos consoante a sua proveniência: pozolanas de origem vulcânica e pozolanas de origem sedimentar. (HEWLETT, 2003). As primeiras resultam de processos vulcânicos, como o arrefecimento brusco de lavas seguido de meteorização, normalmente constituídas por cinzas vulcânicas, soltas ou aglomeradas e afectadas por diferentes graus de alterações atmosféricas.

Materiais pozolânicos artificiais resultam da calcinação de materiais naturais em determinadas condições ou resultam de determinados processos industriais. As pozolanas artificiais são materiais siliciosos que são submetidos a tratamentos específicos, que consiste em cozedura a temperaturas específicas, de forma a evitar o crescimento cristalino, para cada tipo de material, sendo que o processo anterior leva à formação de sílica amorfa. A cinza de casca de arroz é um exemplo de um material pozolânico artificial.

Os materiais pozolânicos são usados na produção de betão, com função inibidora da reacção de alcalis-sílica, como substitutos parciais do cimento e com o objectivo de conferir alguma hidraulicidade a argamassas de cal aérea.

A norma ASTM C 618-01 classifica as pozolonas em três diferentes classes: Classe N (que engloba as pozolanas naturais, calcinadas ou não), Classe F (cinzas volantes produzidas a partir da queima de antracite ou carvão) e Classe C (cinzas volantes produzidas a partir de lignite ou carvão sub-betuminoso, com algumas propriedades hidráulicas).

2.4. CINZA DE CASCA DE ARROZ

A Cinza de Casca de Arroz (CCA), como já foi referido anteriormente, classifica-se como sendo um material pozolânico artificial, sendo que a sílica contida no mesmo se deve à absorção que as plantas efectuam durante o seu crescimento e que é variável consoante o local onde se encontra plantada.

A cinza de casca de arroz, já foi alvo de elevado número de estudos e ensaios, sendo que, nos países com elevada produção de arroz como o caso dos asiáticos, é um produto bastante abundante. Enquadrada no conceito de biomassa, tal como o refugo agrícola, o refugo florestal, etc., tem tido outro tipo de utilização ligada à construção. A cinza de casca de arroz tem sido utilizada como isolante, na estabilização de solos, em argamassas e betões, em tijolos prensados, etc.

Relativamente ao panorama mundial de produção, estima-se que anualmente se produzam cerca de 20 milhões de toneladas de cinza de casca de arroz, distribuídos por diversas empresas. No que toca a Portugal, Velosa refere que os níveis de produção nacional de cinza serão suficientes para servir as potenciais necessidades internas. (VELOSA, 2006)

A matéria-prima da cinza casca de arroz é, como o próprio nome indica, a casca de arroz. Deste modo, a casca de arroz constituiu-se como um excedente da produção de arroz e resulta do descasque do arroz. Estima-se que a casca de arroz corresponde a 22% da produção do arroz, e que por cada tonelada de casca é possível obter 250kg de cinza de casca de arroz (ricehuskash, 2010). Deste modo, por cada tonelada de arroz produzido é possível obter 55kg de cinza casca de arroz. (ricehuskash, 2010)

A composição química, a estrutura cristalina e mineralógica da cinza dependem da constituição da casca e da metodologia de calcinação adoptada, nomeadamente do tipo de forno utilizado, da temperatura e do tempo de calcinação, (NAIR, 2007), (NEHDI, et al., 2003). Assim, a casca de arroz quando devidamente calcinada poderá originar cinza constituída essencialmente por sílica no estado amorfo, a qual, segundo Metha (METHA, 1983) poderá classificar-se como um material pozolânico de elevada reactividade.

A cinza de casca de arroz apresenta, geralmente, cor acinzentada e dimensões na ordem dos 25µm. Em termos de composição química, conforme já foi referido, é essencialmente constituída por sílica (> 80%) podendo parte desta sílica apresentar-se no estado cristalino, sob a forma de quartzo ou cristobalite, devido às condições de produção.

A Tabela 2.1 apresenta a composição química de uma cinza de casca de arroz estudada por Hewlett (HEWLETT, 2003). A composição das cinzas de casca de arroz é condicionada também por factores relacionados com aspectos relacionados com a produção do arroz e com as condições climáticas e geográficas no local de produção do arroz (VELOSA, 2006).

TABELA 2.1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE UMA CINZA DE CASCA DE ARROZ, SEGUNDO (HEWLETT, 2003)

Composição Química da CCA [%]	
Material	Cinza de casca de arroz
SiO ₂	79,5
Al ₂ O ₃	0,09
Fe ₂ O ₃	0,06
CaO	0,64
MgO	0,83
Na ₂ O	0,07
K ₂ O	3,75
P ₂ O ₅	0,31

A reacção pozolânica consiste num processo químico em que o material pozolânico e o hidróxido de cálcio reagem na presença de água, formando compostos hidráulicos. Esta reacção é que permite definir um material como pozolânico, a extensão da reacção e a sua reactividade, definindo assim o seu grau de pozolanicidade (capacidade de reacção), que é influenciado pela sua instabilidade termodinâmica, a superfície específica e a composição química.

As argamassas com cal aérea são as mais apropriadas na reabilitação de edifícios antigos, devido à sua compatibilidade com as alvenarias antigas, quando comparadas com outros ligantes hidráulicos, nomeadamente o cimento. No entanto, possuem determinadas características que limitam a sua aplicação em determinadas condições, como é o caso de ambientes bastante húmidos, ambientes com reduzido teor de dióxido de carbono e zonas sujeitas a processos de cristalização e dissolução de sais solúveis importantes. Para obviar estas situações, têm vindo a ser estudados diversos materiais com o objectivo de serem utilizados como adições pozolânicas neste tipo de argamassas. O recurso a estas adições permite que o desenvolvimento do endurecimento da argamassa ocorra de forma mais rápida, resulte de reacções de hidratação e carbonatação, e a argamassa apresente maior resistência mecânica.

Para que a casca de arroz possa ser utilizada é necessário proceder à sua calcinação, que consiste num conjunto de processos exotérmicos aliados a uma perda de massa. Deste processo de calcinação resulta cinza com elevado teor em sílica, a qual se deverá encontrar maioritariamente no estado amorfo. Ora, para que se produza um produto com elevada sílica amorfa e no entanto com elevada reactividade pozolânica, é essencial que todo o processo seja controlado, quer em termos de temperatura, quer do tempo, qualidade do material e quantidade de oxigénio presente, para que dessa forma se veja a decomposição da matéria e ao mesmo tempo se impeça a formação de sílica cristalizada. Apesar de os parâmetros a controlar serem conhecidos, vários autores apresentam valores de estudo e obtenção de cinzas bastante diversificados, para valores de concentrações de sílica similares. Conforme foi referido, a variação das propriedades do produto obtido é afectada pelas condições em que a calcinação é realizada, por exemplo em termos de cor, constituição química e estrutura cristalina da cinza.

Após o processo de calcinação, a cinza obtida é moída em partículas finas da cinza para que esta possa ser utilizada como adição pozolânica.

A sílica amorfa da cinza vai reagir com o hidróxido de cálcio da cal aérea, formando silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, responsáveis pelo desenvolvimento de compostos hidratados. Esta reacção, é tanto mais evidente quanto maior for a reactividade pozolânica do material.

2.5. REACTIVIDADE POZOLÂNICA

Define-se reacção pozolânica como a reacção química entre um material denominado de pozolânico, os seus compostos siliciosos e aluminosos reactivos, e o hidróxido de cálcio, na presença de água originando a formação de compostos hidráulicos (SOUSA COUTINHO, 2006).

Os principais produtos das reacções pozolânicas são designados por C-S-H (silicatos de cálcio hidratados).

A reactividade pozolânica é afectada por diversos factores ((VELOSA, 2007), (UZAL, et al., 2008) e (SWAMY, 1993) em (SANTOS, 2006)), como sejam:

- o tipo de pozolana;
- a superfície específica e consequentemente o grau de finura da pozolona;
- a composição dos materiais constituintes das argamassas (relação cal/pozolona);
- a quantidade de água;
- a temperatura a que é sujeita a matéria-prima que originará a pozolona;
- as condições de cura ou condições termo-higrométricas.

TIPO DE POZOLANA

(MOROPOULOU, et al., 2004) concluiu que o tipo de pozolana influencia a reactividade das mesmas. Existem diferenças entre pozolanas naturais e artificiais e dentro de cada tipo da mesma forma, uma vez que a velocidade e o tempo de reacção depende da adição pozolânica.

SUPERFÍCIE ESPECÍFICA DA POZOLANA

De acordo com (SANTOS, 2006) citando (ABRAMS, 1925) pozolanas com maior grau de finura são mais reactivas.

(LEA, 1938) efectuou ensaios para determinar a influência do grau de finura das pozolanas na reactividade das mesmas. Para tal utilizou pozolanas com superfícies específicas diferenciadas, tendo utilizado como metodologia para a avaliação da reactividade a medição da fixação de Ca(OH)_2 num período de 180 dias. Este autor concluiu que aos 28 dias já se consegue estabelecer uma relação entre o grau de finura e o nível de reactividade de uma pozolana: quanto maior a superfície específica maior a reactividade.

RELAÇÃO CAL/POZOLANA

Não existe um consenso entre os diversos autores sobre a razão óptima cal/pozolana. No entanto, existe unanimidade quando referem que esta relação está intrinsecamente ligada com o tipo de pozolana utilizada.

(SOUSA COUTINHO, 1958) aborda a questão da relação cal/pozolana e refere que, a quantidade de pozolana a utilizar deve ser aferida para cada tipo de pozolana uma vez que a reactividade varia consoante a sua tipologia. Também (LEA, 1938) efectuou estudos em que concluiu que para diferentes pozolanas devem existir diferentes quantidades e relações cal/pozolana.

QUANTIDADE DE ÁGUA

Segundo estudo efectuado por (LEA, 1938), uma maior quantidade de água (relação água/mistura ligante) será benéfica para a mistura, uma vez que potenciará a velocidade da reacção, quer se trate de uma pozolana natural ou artificial.

(SOUSA COUTINHO, 1985) aprofundando o conhecimento sobre a quantidade de água a utilizar para preparar argamassas de cal com adição de pozolanas, aconselha a utilizar água em quantidade igual a 32% do peso de cal mais pozolana, sendo que considera que esta é a

quantidade de água necessária para hidratar os silicatos e aluminatos anidros presentes na mistura.

TEMPERATURA DE FORMAÇÃO E TEMPO DE EXPOSIÇÃO

Inúmeros autores desenvolveram estudos com o intuito de determinar as condições que favoreceriam a obtenção de cinza de casca de arroz (CCA) altamente reactiva, sendo que as conclusões a que chegaram foram as seguintes ((CALLEJA, 1983), (MAEDA, et al., 2001), (MEHTA, et al., 1977) em (SANTOS, 2006)):

- A temperatura e tempo de exposição a essa temperatura durante a queima da cinza têm uma grande influência na reactividade da cinza;
- A uniformidade ou falta dela relativamente à temperatura a que a cinza é exposta conduz a cinzas com diferentes graus de reactividade;
- Quanto maior for a superfície específica, ou seja, o grau de finura do material considerado, maior será o seu nível de reactividade;
- A queima da casca de arroz com temperaturas inferiores a 800°C e superiores a 500°C originam cinzas mais reactivas face às obtidas a outras temperaturas.

CONDIÇÕES DE CURA

As condições de cura são determinantes para o desempenho das argamassas com adições pozolânicas no seu estado endurecido. Deste modo, é importante estudar o comportamento de argamassas sujeitas a diferentes condições de cura.

As características mecânicas de uma argamassa no estado endurecido estão intrinsecamente ligadas ao seu processo de endurecimento e consequentemente ao ambiente a que a argamassa ficou exposta nesse período de tempo. O desenvolvimento de resistência mecânica está, por isso, associado à temperatura e humidade e que influem nos processos de carbonatação e hidratação.

A temperatura e humidade durante o condicionamento das argamassas afectam a velocidade da evaporação de água das mesmas. Assim, quanto mais húmido mais lenta será essa evaporação mas quanto maior a temperatura mais rápida será essa tendência. Temperaturas muito elevadas podem acelerar de forma indesejada a evaporação da água e não dar tempo para a adequada formação dos compostos que resultam de reacções de hidratação.

(LEA, 1938) comparou a reactividade de pastas formuladas com adições pozolânicas submetidas a temperaturas de cura diferenciadas. Deste estudo concluiu que, no intervalo de temperaturas compreendido entre 20°C e 60°C, o aumento da temperatura potencia a reactividade pozolânica.

(SOUSA COUTINHO, 1958) testou pastas de cal e pozolanas conservadas dentro de água mas sob condições térmicas diferentes (temperaturas entre os 10° e os 24° C). Este autor concluiu que a reactividade aumentava com o aumento da temperatura.

No que se refere à humidade ambiente a que são sujeitas as argamassas com adições pozolânicas no seu processo de endurecimento, (SOUSA COUTINHO, 1958) refere que ambientes com pouca humidade, como seja o caso de condições de cura seca ou ambiente, provocam uma contracção inicial das argamassas superior à provocada em condições de cura húmida. Quando em cura seca ou ambiente, a rapidez de evaporação de água provoca um aumento do número de vazios, rotura nas ligações e consequentemente produtos de reacção modificados. Neste estudo, o autor comparou condições de cura com humidade relativa de 50% e 100%, e concluiu que a reactividade pozolânica era beneficiada nas curas húmidas, ou seja, ambientes com 100% de humidade relativa.

(FARIA RODRIGUES, 2004) concluiu que a cura húmida beneficia argamassas formuladas com adições pozolânicas comparativamente à cura seca (50% de humidade relativa), sendo este facto possivelmente justificado pela célere e forte evaporação da água das argamassas durante as primeiras 24 horas. Esta rapidez de evaporação pode acarretar consequências negativas relacionadas com a hidratação dos compostos constituintes das argamassas, que poderá ser insuficiente. Estes compostos são os resultantes da denominada reacção pozolânica que ocorre entre o hidróxido de cálcio da cal e a alumina e sílica das pozolanas. Em cura húmida, a evaporação da água de amassadura é bastante reduzida, ou inexistente, pelo que a reacção pozolânica é favorecida.

Conclui-se então que, condições de cura com maior teor de humidade e temperaturas mais elevadas, de entre os valores apresentados, potenciam a reacção pozolânica e por isso temos condições favoráveis ao incremento da reactividade pozolânica neste tipo de ambientes.

2.6. AVALIAÇÃO DA REACTIVIDADE POZOLÂNICA

A reactividade da cinza de casca de arroz depende, de acordo com estes autores, da formação de sílica na forma cristalina e amorfa em proporções diferentes sendo que esta diferença se justifica pelo facto que no processo de queima as temperaturas serem diferentes. Quanto maior o teor de sílica amorfa mais reactiva quimicamente será a cinza, contudo, este facto não está necessariamente ligado a um melhor desempenho (SANTOS, 2006).

Em estudos efectuados por diferentes autores são propostos métodos de avaliar a reactividade pozolânica, isto é, o efeito que a adição pozolânica trás a uma argamassa. De acordo com (SWAMY, 1993) em (SANTOS, 2006) para se considerar que um método de avaliar a reactividade pozolânica é eficaz terá que respeitar uma série de requisitos, nomeadamente:

- (i) Ter a capacidade de quando utilizado em diferentes materiais distinguir os pozolânicos dos não pozolânicos;
- (ii) Permitir recolher informações sobre o nível ou grau de actividade pozolânica de uma mistura, bem como dados sobre o desenvolvimento de resistência da mesma;
- (iii) Possibilitar uma rápida análise dos resultados de maneira a potenciar o uso das pozolanas pela indústria da construção.

Os métodos para avaliar a reactividade pozolânica podem ser de dois tipos: mecânicos e químicos. Os pressupostos em que se baseiam os métodos mecânicos de avaliação da reactividade pozolânica são simples. Estes partem do princípio que a adição de uma pozolana incrementa a resistência mecânica de pastas e argamassas formuladas com cal e pozolanas. Assim, comparando a resistência mecânica de provetes normalizados de pasta ou argamassa de cal e pastas ou argamassas de cal e pozolanas é possível identificar o nível de reacção da cal com a pozolana. Dentro destes, o método mais utilizado baseia-se na medição da resistência à compressão de argamassas de cal aérea com e sem adições pozolânicas, (WANSOM, et al., 2009)

O Caderno de Encargos para Fornecimento e Recepção de Pozolanas (anexo do (R.B.L.H., 1991) enumera e resume os regulamentos de outros países que, na data de elaboração do referido documento, se encontravam em vigor. Estes documentos especificam exigências para pozolanas e ensaios em pastas de cal e pozolanas e argamassas de areia, cal e pozolanas. No caso português, este documento regulava unicamente pastas de cal e pozolana, permitindo a classificação de pozolanas e estabelecendo um método de avaliação da pozolanicidade, baseado nas características físicas da adição e na tensão de rotura à flexão e compressão das pastas. A norma ASTM C 593-06 (ASTM, 2006) estabelece valores mínimos de resistência mecânica que determinadas argamassas formuladas com cal e pozolanas devem apresentar.

Sousa Coutinho descreve em *“Pozolanas, betões com pozolanas e cimentos pozolânicos”*, a avaliação da reactividade de uma pozolana com dimensões inferiores a 88µm, através da utilização de uma solução saturada de Ca(OH)_2 à qual se adiciona pozolana ao que se segue a agitação da solução por tempo definido, findo o qual se efectua a medição do teor de Ca(OH)_2 , (SOUSA COUTINHO, 1958)

A medição da reactividade ou pozolanicidade de um material por recurso ao método ou teste Chapelle consiste em proceder à análise comparativa de uma mistura de pozolana com óxido de

cálcio, e outra sem pozolana. O procedimento especifica que se deve colocar 1g de pozolana e 1 g de hidróxido de cálcio em 100 mL de água a ferver durante 16 horas findas as quais se deverá medir a quantidade de óxido de cálcio (Ca(OH)_2) que não reage, utilizando para o efeito equipamento padronizado. Desta comparação sai um resultado em expresso em mg de óxido de cálcio por grama. Refira-se que o grau de pozolanicidade de um material é tanto maior quanto maior for o consumo de óxido de cálcio.

Luxan propõe a avaliação da reactividade pozolânica através da avaliação da variação da condutividade de uma solução saturada de hidróxido de cálcio antes e após a adição de pozolana à solução, (LUXÁN, et al., 1989) A condutividade é avaliada antes da introdução da adição e 2 minutos após a sua introdução na solução. Para tal, recorre à mistura de 5 gramas de pozolana em 200 ml de solução. O objectivo primordial deste método é conseguir medir a capacidade da sílica da pozolana reagir com o hidróxido de cálcio da solução formando silicato de cálcio hidratado, diminuindo a concentração de iões cálcio da solução e consequentemente, medir a quantidade de material reactivo da pozolana. As conclusões são retiradas comparando a condutividade antes e após a adição pozolânica. Quanto maior a diferença maior a reactividade do material. A Tabela 2.2 resume a classificação de materiais pozolânicos segundo o autor mencionado:

TABELA 2.2 – CLASSIFICAÇÃO POZOLÂNICA DE MATERIAIS BASEADA NA MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE, (LUXÁN, ET AL., 1989)

POZOLANICIDADE DO MATERIAL	CONDUTIVIDADE (miliSiemens – mSi)
Não pozolânico	< 0,4
Com Pozolanicidade variável	0,4 a 1,2
Com Boa Pozolanicidade	> 1,2

Wansom estudou a reactividade pozolânica de cinzas de casca de arroz por recurso a diversos métodos baseados na avaliação da condutividade de soluções e procedeu à análise comparativa dos resultados obtidos com as diferentes metodologias, (WANSOM, et al., 2009).

Este autor baseou-se em estudos já efectuados, nomeadamente por (LUXÁN, et al., 1989), (TASHIRO, et al., 1994) e (MCCARTER, et al., 1996) e concluiu que os métodos propostos por Luxán (que utiliza corrente directa) e por McCarter (corrente alterna) são sensíveis à actividade pozolânica da cinza de casca de arroz em diferentes idades. O método de Luxán revelou-se mais adequado na avaliação da actividade pozolânica na fase inicial (argamassas com poucos dias), enquanto o método proposto por McCarter e Tran revelou ser mais apropriado para o estudo da actividade pozolânica em idades mais avançadas.

3. APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PLANO DE ENSAIOS

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente trabalho tem como principal objectivo estudar a influência das condições de cura no desempenho de argamassas de cal aérea. Para dar resposta a este objectivo foi necessário proceder ao desenvolvimento de um estudo com o objectivo de avaliar a influência da granulometria da cinza na acção pozolânica (Fase 1). Os resultados desta fase do trabalho permitiram seleccionar duas argamassas de cal aérea formuladas com cinza de casca de arroz com granulometria diferente sobre as quais incidiu a análise da influência das condições de cura (Fase 2). As argamassas formuladas com cinza de casaca de arroz foram submetidas às seguintes condições de cura: seca, húmida e em ambiente de laboratório.

Em ambas as fases do trabalho (Fase 1 – estudo da influência da granulometria; Fase 2 – estudo da influência das condições de cura) foi tomada como referência uma argamassa de cal aérea formulada com a mesma cal aérea e areia das utilizadas nas argamassas com cinza de casca de arroz, bem como com consistência semelhante e igual proporção cal/areia.

O presente estudo enquadra-se num projecto de investigação que tem como objectivo estudar formulações de argamassa de cal aérea com cinzas de casca de arroz com potencial interesse para aplicação em revestimentos de paredes de edifícios antigos. No âmbito deste projecto foi desenvolvida a presente dissertação e encontra-se em fase de conclusão a dissertação de Mestrado intitulada “Argamassas de cal aérea com incorporação de cinzas de casca de arroz. Estudo da influência da granulometria das cinzas”. Estas duas dissertações tiveram uma etapa de desenvolvimento comum, que teve como objectivo definir as granulometrias da cinza de casca de arroz a utilizar no desenvolvimento de ambas as dissertações.

As argamassas estudadas no âmbito do presente trabalho foram formuladas com uma areia de rio, ou seja com um agregado de origem natural, fino, de massa volúmica corrente e de natureza siliciosa. A Cal aérea utilizada é uma cal cálcica, hidratada, tipo CL 90, produzida pela CALCIDRATA. A cinza de casca de arroz utilizada no desenvolvimento do estudo é produzida pela empresa CINCÁS.

Todas as argamassas estudadas foram formuladas com a mesma cinza de casca de arroz utilizada com diferentes granulometrias, uma vez que se considerou a forma mais directa de avaliar o potencial interesse de utilizar estas cinzas em argamassas à base de cal aérea. As formulações estudadas são constituídas por uma mistura de 180g de cal aérea hidratada, 360g de cinza de casca de arroz e 1480g de areia de rio (traço ponderal da ordem de 1:2:8, baseado no disposto na ASTM C593-06, que recorre à avaliação da reactividade pozolânica através da avaliação da resistência mecânica de argamassas. Além destas formulações, foi também estudada uma argamassa de cal área com o traço ponderal de 1:8 que foi tomada como

referência na avaliação da acção pozolânica desencadeada pela presença de cinza de casca de arroz nas argamassas com ela formuladas. A quantidade de água utilizada na formulação das diversas argamassas estudadas (água/mistura ligante) foi estabelecida com o objectivo de produzir argamassas com uma consistência da ordem de 165 ± 5 mm, avaliada de acordo com EN 1015:3. Todas as argamassas foram produzidas com areia previamente seca em estufa a 105°C .

Em ambas as fases, a caracterização das argamassas no estado fresco incluiu a avaliação da: consistência por espalhamento, retenção de água, massa volúmica aparente e exsudação.

A caracterização no estado endurecido das argamassas foi efectuada com base na caracterização de provetes prismáticos. Na fase 2, esta caracterização incidiu também no estudo provetes em que as argamassas foram aplicadas como camadas de revestimento de tijolos cerâmicos.

A campanha experimental foi realizada no Laboratório de Construção do DECivil, do Instituto Superior Técnico.

3.2. DESCRIÇÃO DO PLANO DE ENSAIOS

A campanha experimental dividiu-se em duas fases principais de desenvolvimento (Fase 1 e Fase 2).

O endurecimento de argamassas formuladas exclusivamente à base de cal aérea processa-se apenas por carbonatação, processo para o qual é fundamental a presença de dióxido de carbono. Uma vez que a difusão do CO_2 é bastante lenta em ambientes saturados, a cura da argamassa formulada exclusivamente à base cal (Cal) foi efectuada sempre num ambiente com uma humidade relativa e temperatura de, respectivamente, $50\% \pm 5\%$ e $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Todos os provetes foram retirados dos moldes decorridos 7 dias após a sua moldagem.

Fase 1 - Estudo da influência da granulometria da cinza na reactividade pozolânica:

Esta fase teve como objectivo estudar a influência da granulometria da cinza na acção pozolânica e com base nos resultados obtidos seleccionar duas formulações de argamassa de cal com cinza de casaca de arroz a utilizar na Fase 2. A caracterização das argamassas estudadas nesta fase foi menos profunda do que adoptada na fase 2. Esta opção justificou-se pelo facto de avaliação da reactividade pozolânica ter incidido essencialmente nas características mecânicas das argamassas e da sua análise comparativa face às características mecânicas da argamassa de cal aérea de referência.

A preparação e caracterização da cinza de casca de arroz exigiram componentes experimentais determinantes do estudo desenvolvido.

A preparação da cinza de casca de arroz incluiu as seguintes etapas:

- peneiração mecânica da cinza de casca de arroz comercial (C) através dos peneiros de abertura 500 μ m e 250 μ m, por um período de 10 minutos. A cinza passada no peneiro de abertura 500 μ m foi designada por CP500 e a passada no peneiro 250 μ m foi designada por CP250;
- moagem da cinza CP500 por recurso à máquina de desgaste de Los Angeles, com o objectivo de incrementar a finura da cinza. O recurso à moagem reduz o desperdício resultante da utilização de fracções granulométricas obtidas por peneiração da cinza comercial (C), dado que permite reduzir a dimensão das partículas. Na sequência deste processo de moagem foram obtidas as cinzas designadas por CPm15, CPm30, CPm60 e CPm75, que correspondem a períodos de moagem de 15min., 30min, 60min. e 75min., respectivamente;
- após a prévia preparação da cinza através do processo de moagem, procedeu-se ao fraccionamento de CPm75 por peneiração através dos peneiros 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m e 75 μ m. Este processo levou à obtenção de CM500, CM250, CM125 e CM75 constituídas por material de CPm75 passado, respectivamente, nos peneiros 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m e 75 μ m.

As cinzas CM500, CM250, CM125 e CM75 foram utilizadas na formulação das argamassas, A500, A250, A125 e A75, respectivamente, e as cinzas CP500 e CP250 foram utilizadas na produção das argamassas P500 e P250, respectivamente. Todas estas argamassas apresentam consistência da ordem de 165 ± 5 mm e a seguinte formulação: 180g de cal aérea hidratada, 360g de cinza de casca de arroz, 1480g de areia de rio (traço ponderal da ordem de 1:2:8, Tabela3.1. As características destas argamassas formuladas com cinza formam objecto de análise comparativa face às características da argamassa de cal aérea, Tabela 3.1. A caracterização no estado fresco incluiu a avaliação da: consistência por espalhamento (pela (EN1015-3, 1999)), retenção de água, massa volúmica aparente e exsudação

A ASTM 593-06 estabelece que os provetes para a avaliação da reactividade pozolânica devem permanecer nos moldes durante 7 dias e ser conservados numa câmara com vapor de água a $54 \pm 2^\circ\text{C}$, ao que se deve seguir a sua desmoldagem e manutenção até à data de ensaio num ambiente à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e com uma humidade relativa de 95 a 100%. Segundo o “Caderno de Encargos para o Fornecimento e Recepção de Pozolanas”, os provetes são conservados nos moldes durante 24 a 72h, num ambiente com $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ e 95% de humidade relativa, sendo os moldes cobertos por uma chapa metálica. Findo este período, os provetes são desmoldados e conservados em água a $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ até à data de ensaio.

No presente estudo, imediatamente após a moldagem, os provetes de argamassas com cinza de casca de arroz da Fase 1 foram conservados num ambiente à temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e com uma humidade relativa de 95 a 100% até à data de ensaio. Todos os provetes foram retirados dos moldes decorridos 7 dias da sua moldagem.

A influência da finura da cinza na reactividade pozolânica baseou-se na avaliação da velocidade de propagação de ultra-sons e da resistência à flexão e compressão, aos 14 e 28 dias de idade das argamassas. A caracterização no estado endurecido das argamassas nesta fase foi efectuada com base na caracterização de provetes prismáticos.

TABELA 3.1 – FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS ESTUDADAS NA FASE I DA CAMPANHA EXPERIMENTAL

Argamassa Designação	Traço Ponderal								Razão Água/mistura ligante*
	Cal	Cinza de Casca de Arroz						Areia	
		CM500	CP500	CM250	CP250	CM125	CM75		*(cal ou cal+cinza)
Cal	1	-	-	-	-	-	-	8	1,83
A500	1	2		-	-	-	-	8	1,15
P500	1	-	2	-	-	-	-	8	1,15
A250	1	-		2	-	-	-	8	1,15
P250	1	-	-	-	2	-	-	8	1,15
A125	1	-	-	-	-	2	-	8	1,14
A75	1	-	-	-	-	-	2	8	1,09

Com base nos resultados obtidos nesta Fase foram seleccionadas as argamassas CP500 e CP250 para a Fase 2.

Fase 2 - Estudo da influência das condições de cura:

A Fase 2 teve como objectivo avaliar a influência das condições de cura de argamassas de cal aérea com incorporação de cinza de casca de arroz, com diferentes granulometrias, em que a acção pozolânica se fez manifestar. Para tal foram utilizadas 3 argamassas: a argamassa de cal aérea tomada como argamassas de referência denominada de “Cal” (sem adição de CCA) e duas outras argamassas, a CP500 (argamassa de cal com cinza passada no peneiro 500 μm) e a CP250 (argamassa de cal com cinza passada no peneiro 250 μm).

A caracterização no estado endurecido realizada na Fase 2 foi efectuada aos 28 dias de idade das argamassas e foi efectuada com base no estudo de provetes prismáticos de provetes em que as argamassas foram aplicadas como camadas de revestimento de tijolos cerâmicos.

Com o objectivo de estudar a influência das condições de cura nas características no estado endurecido das argamassas formuladas com cinza de casaca de arroz, estas argamassas foram

submetidas às seguintes condições de cura: seca, húmida e em ambiente de laboratório. A argamassa de cal aérea, utilizada como referência, foi conservada em ambiente seco (cura seca) até à sua caracterização aos 28 dias de idade.

As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam de forma esquemática o número de provetes e o plano de ensaios adoptados nesta Fase 2. Para cada formulação de argamassa e condição de cura estudada foram preparados 6 provetes prismáticos e 3 camadas de argamassa aplicadas como camada de revestimento de tijolos cerâmicos.

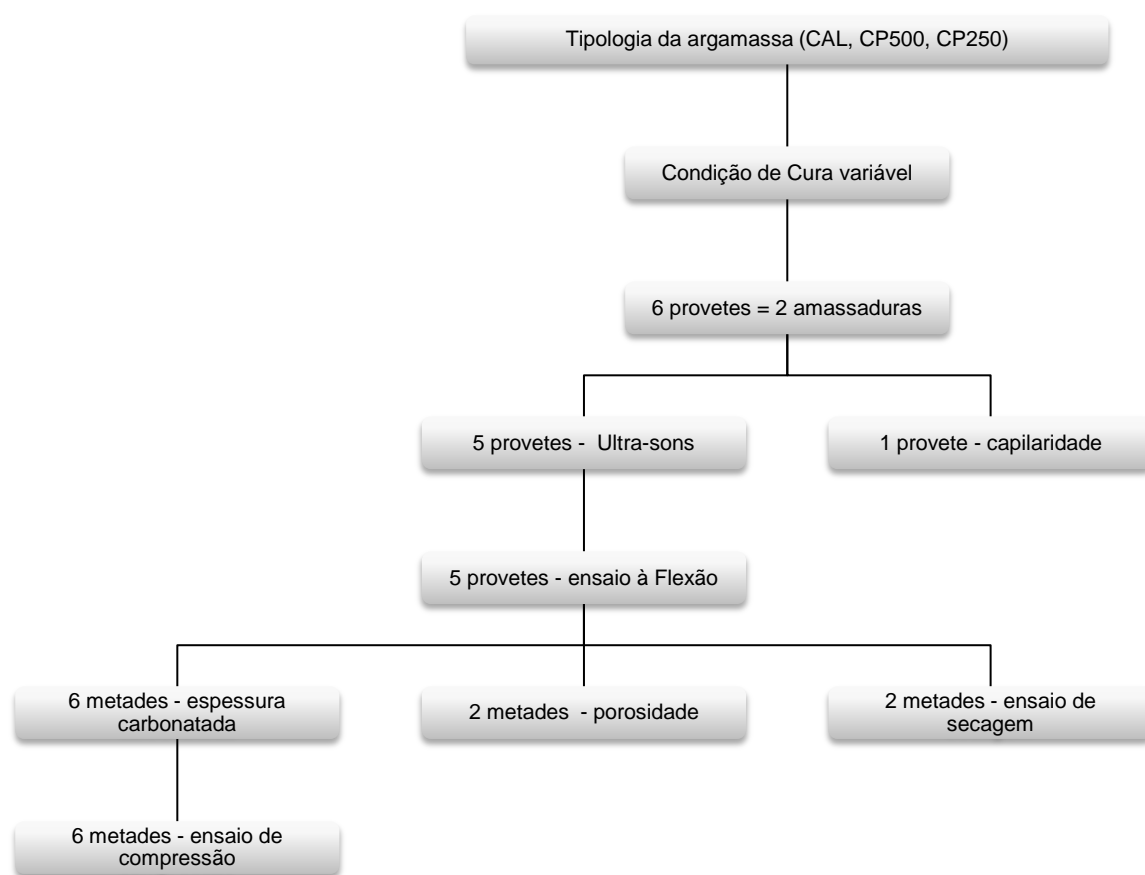


FIGURA 3.1 – ESQUEMA DE ENSAIO DOS PROVETES PRISMÁTICOS



FIGURA 3.2 – ESQUEMA DE ENSAIO DOS TIJOLOS

3.3. CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

As argamassas estudadas no âmbito do presente trabalho foram formuladas com uma areia de rio, ou seja com um agregado de origem natural, fino, de massa volúmica corrente e de natureza siliciosa. A Cal aérea utilizada é uma cal cálcica, hidratada, tipo CL 90, produzida pela CALCIDRATA, Figura 3.3. A cinza de casca de arroz utilizada no desenvolvimento do estudo é produzida pela empresa CINCÁS.

CAL AÉREA

A Cal Aérea utilizada é produzida pela empresa CALCIDRATA, Figura 3.3 a partir de matéria-prima extraída nas Serras d'Aire e Candeeiros. A cal é produzida em forno vertical contínuo de 2 cubas, a uma temperatura de calcinação de 900°C, por um período de 12 horas. A produção e o controlo de qualidade da referida Cal estão de acordo com a Norma ISO 9001:2008.

A Figura 3.4 resume a classificação das cals de construção, com base no disposto na NP EN 459 - 1, no que se refere à sua constituição química.



FIGURA 3.3 – ASPECTO DAS EMBALAGENS DE CAL AÉREA CALCIDRATA CL90 E DA CAL EM PÓ

Cals de construção

Cal aérea L

Cal cálcica CL

Cal viva

Cal hidratada

Cal dolomítica DL

Cal viva

Cal hidratada

Cal hidráulica HL

Valores expressos em % de massa					
Tipo	CaO+MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Cal livre
CL 90	≥ 90	≤ 5 ²⁾	≤ 74	≤ 2	-
CL 80	≥ 80	≤ 5 ²⁾	≤ 7	≤ 2	-
CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	-
DL 85	≥ 85	≥ 30	≤ 7	≤ 2	-
DL 80	≥ 80	≥ 5	≤ 7	≤ 2	-
HL 2	-	-	-	≤ 3 ²⁾	≥ 8
HL 3,5	-	-	-	≤ 3 ²⁾	≥ 6
HL 5	-	-	-	≤ 3 ²⁾	≥ 3
NHL 2	-	-	-	≤ 3 ¹⁾	≥ 15
NHL 3,5	-	-	-	≤ 3 ¹⁾	≥ 9
NHL 5	-	-	-	≤ 3 ¹⁾	≥ 3

FIGURA 3.4 – CLASSIFICAÇÃO DAS CALS DE CONSTRUÇÃO RELATIVAMENTE À COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ADAPTADO DE (PEREIRA, 2005)

A Tabela 3.2 resume a análise química e física da Cal aérea fornecida pela empresa produtora da cal, a Calcidrata.

TABELA 3.2 – ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA DA CAL AÉREA CL90

Análise Química e Física			
Parâmetro		Valor limite	Metodologia
Finura (resíduo em % de massa)	0.09 mm	≤ 7	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-6:1996
	0.2 mm	≤ 2	
Expansibilidade (mm)		≤ 20	NP EN 459-2:2002 NP EN 196-3:1996
Penetração/ Água necessária (mm)		10 a 50	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-1:1996
CaO + MgO (% da massa)		≥ 90	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-2:1996
MgO (% da massa)		≤ 5	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-2:1996
CO ₂ (% da massa)		≤ 4	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-2:1996

Os sacos de cal foram conservados em recipientes estanques e opacos (barricas), devidamente isolados e protegidos do ambiente exterior, desde a sua aquisição até à sua utilização, de forma a preservar as suas características. O objectivo foi evitar que cal estivesse em contacto directo com o ar e consequentemente em contacto com CO₂ que causaria a sua carbonatação e faria com que não se pudesse considerar como ligante mas antes como uma espécie de agregado em pó. As fichas técnicas de dados de segurança e química da cal aérea utilizada encontram-se no Anexo 1.

AREIA

A areia de rio, Figura 3.5, foi previamente seca em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante um período não inferior a 24 horas, tempo esse que se verificou experimentalmente ser o necessário e suficiente para que a areia atingisse um valor de massa constante (variação de massa inferior a 0,01% em duas pesagens sucessivas).



FIGURA 3.5 – ASPECTO DA AREIA DE RIO APÓS SECAGEM

Para a determinação do período necessário à estabilização da massa da areia foram efectuadas medições às 12, 24 e 48 horas, sendo que se verificou a estabilização às 24 horas. Após secagem, a areia foi devidamente acondicionada num exsiccador previamente preparado para o efeito, até atingir a temperatura ambiente. Este processo foi efectuado de forma a evitar ou minimizar a possível influência da humidade no agregado, na mistura e na quantidade de água necessária.

A caracterização da areia utilizada incluiu a determinação da análise granulométrica e da baridade. A preparação das amostras de areia previamente seca para ensaio recorreu a um separador, Figura 3.6, para o fraccionamento das amostras e sua homogeneização.



FIGURA 3.6 – SEPARADOR UTILIZADO PARA PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE AGREGADO

A análise granulométrica da areia baseou-se no disposto na NP EN 1015-1 (EN1015-1, 1998) e consistiu na peneiração mecânica da amostra durante 10 minutos, utilizando para o efeito os seguintes peneiros: 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm e 0,063mm. Terminada peneiração em cada peneiro, avaliou-se a massa de areia retida em cada peneiro, com uma balança de precisão (Figura 3.7) e efectuou-se o estudo da curva granulométrica (Gráfico 3.1).



FIGURA 3.7 – BALANÇA DE PRECISÃO E PENEIROS E AMOSTRA DE AREIA PENEIRADA E SEPARADA POR GRANULOMETRIAS

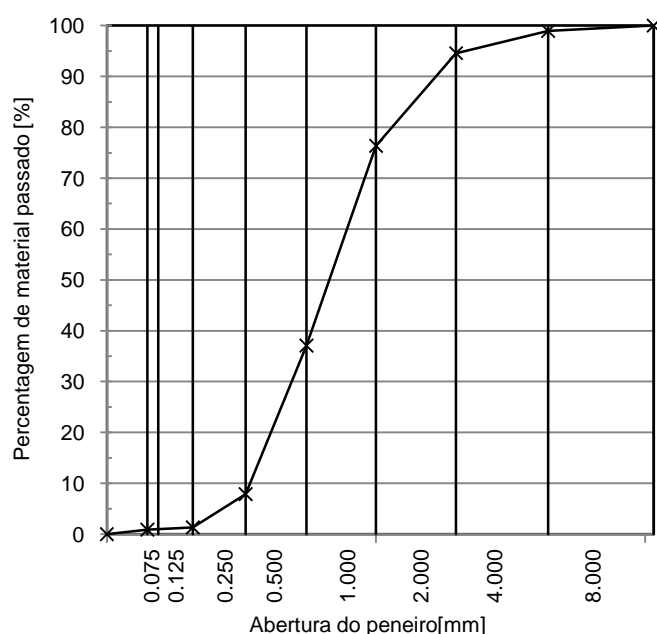


GRÁFICO 3.1 – CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA DE RIO

A avaliação da massa volúmica aparente da areia de rio baseou-se nos procedimentos da NP-EN1097:3, 2000. O material utilizado (Figura 3.8 e Figura 3.9) para esta avaliação foi, além da areia previamente seca, um recipiente de ferro com capacidade de 1 litro (V), uma colher metálica, uma régua metálica para nivelar e uma balança de precisão. Após avaliação da massa do recipiente metálico (m_1), procedeu-se ao seu enchimento com recurso à colher até transbordar, procurando garantir a distância de 5 cm entre o bordo do recipiente e a colher. Por fim, rasou-se o recipiente e avaliou-se a massa do conjunto (m_2). A massa volúmica aparente (Tabela 3.3) é calculada através da seguinte expressão:

$$MV_{aparente} = \frac{m_2 - m_1}{V} [Kg/m^3]$$

EQUAÇÃO 3.1 – CÁLCULO DA MASSA VOLÚMICA APARENTE DOS AGREGADOS

Em que:

m_2 – massa do recipiente cheio de agregado [kg];

m_1 – massa do recipiente vazio [kg];

V – Volume do recipiente [m^3].



FIGURA 3.8 – ALGUNS DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA AVALIAR A MASSA VOLÚMICA APARENTE DO AGREGADO: BALANÇA, PÁ, RECIPIENTE DE 1L



(a)



(b)

FIGURA 3.9 – ENCHIMENTO DO RECIPIENTE DE 1LITRO (B) E PESAGEM DO CONJUNTO (B)

TABELA 3.3 – MASSA VOLÚMICA APARENTE DA AREIA DE RIO

Massa volúmica da areia de rio	
m_1 (Kg)	1,1746
V (L)	1,0
m_2 (kg)	1,7637
ρ (kg/ m^3)	589,1

ÁGUA DE AMASSADURA

A água utilizada para a produção das argamassas foi água da rede pública e procedeu-se ao registo da temperatura da água utilizada em cada amassadura realizada. A temperatura da água registou reduzida variação, sendo que a temperatura média foi $24^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

A quantidade de água utilizada em cada formulação foi estabelecida de modo a procurar obter uma consistência, avaliada por espalhamento, da ordem de $165 \pm 5\text{mm}$ (EN1015-3, 1999), que avalia a consistência das argamassas em estado fresco.

CINZA DE CASCA DE ARROZ

A cinza de casca de arroz estudada ao longo deste processo foram fornecidas pela empresa CINCÁS, e provenientes de dois lotes adquiridos a 28 de Julho e 28 de Agosto de 2008, identificada no presente trabalho pela letra C (Figura 3.10). Esta cinza foi objecto de diversos trabalhos preparatórios de peneiração, moagem e caracterização.



FIGURA 3.10 – ASPECTO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMERCIAL (C)

A análise da cinza de casca de arroz teve início com a sua observação visual, que permitiu verificar que ela era constituída por partículas de aspecto diferente. Verificou-se a existência de partículas ainda com semelhança à casca de arroz antes da calcinação sendo evidente a sua maior dimensão face às restantes. Constatou-se que estas partículas apresentavam, também, uma cor diferente das partículas de menor dimensão, sendo as primeiras mais escuras que as últimas, indiciando da possível deficiente calcinação do material.

A diferença de tonalidade registada entre as partículas da cinza e o facto de se verificar claramente a deficiente calcinação de algumas partículas podem ficar a dever-se, segundo informação facultada pelo produtor da cinza, ao facto da calcinação da casca de arroz ocorrer no forno utilizado para a produção de cal, em que não é possível garantir temperatura uniforme nem fluxo de ar em todo o material.

(CHANDRASEKHAR, et al., 2003), (DELLA, et al., 2001) e (ZHANG, et al., 1996) estabelecem algum paralelismo entre a cor da cinza e a sua composição química. Segundo estes autores, a tonalidade mais escura da cinza (quase negra ou mesmo negra) revela indícios de uma elevada percentagem de carbono na sua constituição, em oposição à cinza de cor mais clara em que há predominância da concentração de sílica. De referir que, para argamassas de cal aérea, a

concentração elevada de carbono poderá ser prejudicial e por isso interessa separar o material em que se verifique este facto, ou seja, a cinza de maior granulometria.

Deste modo, com o intuito de minimizar a utilização das cinzas de tonalidade mais escura (ou seja, com base na bibliografia consultada, minimizar a utilização de cinza com teores de carbono elevados), numa primeira fase procedeu-se à peneiração mecânica da cinza de casca de arroz comercial (C) através do peneiro de abertura 500 μ m, por um período de 10 minutos. No presente estudo, todas as amostras que foram objecto de peneiração foram secas em estufa a 60 $^{\circ}$ \pm 5 $^{\circ}$ C até atingirem massa constante.

Numa fase inicial efectuou-se a peneiração de todo o material (cinza de casca de arroz comercial – C) de forma a separar a cinza que ficava retida no peneiro 500 μ m da que passava no mesmo, Figura 3.11. Cada amostra a separar foi preparada da mesma forma, foram peneiradas fracções de aproximadamente 400 gramas de cinza durante intervalos de tempo de 10 minutos, uma vez que se verificou ser o necessário para remover o desperdício (a cinza mal calcinada e que muitas vezes ainda aparentava forma de casca de arroz) e otimizar a quantidade de cinza aproveitada. Nesta fase foi avaliada a quantidade de desperdício total de cinza retido neste peneiro. Importa conhecer as quantidades de cinza desperdiçada uma vez que só será viável, considerar-se a cinza de casca de arroz como uma adição pozolânica, caso se consiga otimizar a quantidade de casca que depois de sofrer o processo de transformação para se tornar cinza tem de facto características pozolânicas.

Caso a quantidade de desperdício seja elevada, e considerando a energia necessária para esta transformação, os custos que acarreta e a energia e tempo que é necessário para se conseguir, obter do produto em bruto, material com características pozolânicas, então terá que se rever a sua viabilidade.

No total das peneirações efectuadas, obteve-se aproximadamente 10 % da cinza (C) retida no peneiro de abertura 500 μ m, Figura 3.11 e Figura 3.12. A cinza passada no peneiro de abertura 500 μ m foi designada por CP500.



FIGURA 3.11 – MATERIAL RETIDO NO PENEIRO 500 μ m (DESPERDÍCIO)



FIGURA 3.12 – ASPECTO DA CINZA ANTES E DEPOIS DA PENEIRAÇÃO ATRAVÉS DE PENEIRO 500 μ m

O Gráfico 3.2 apresenta a granulometria de (C) e (CP500).

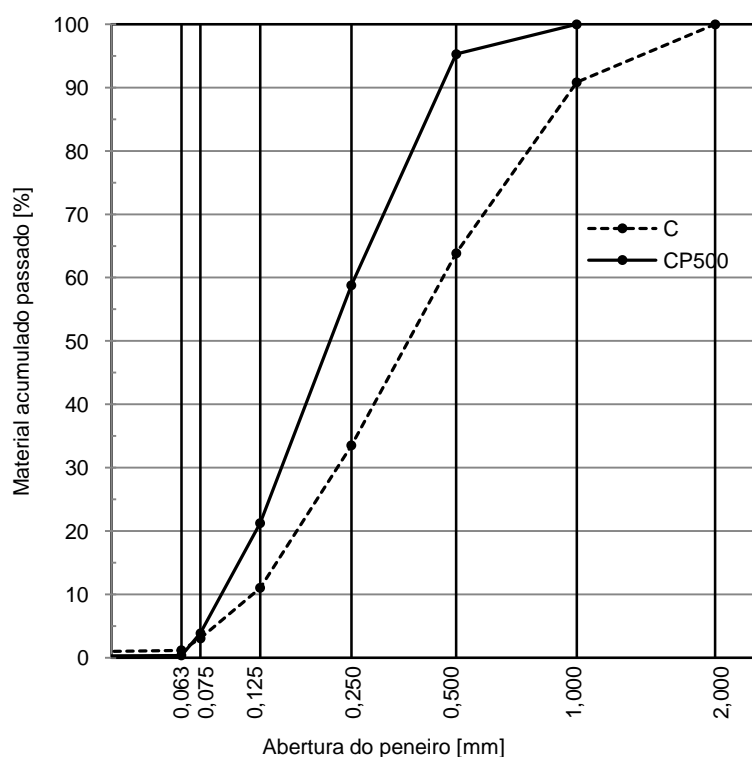


GRÁFICO 3.2- CURVAS GRANULOMÉTRICAS DA CINZA DE CASCA DE ARROZ COMERCIAL (C) E DA CINZA PASSADA EM 500 μ m (CP500)

A Tabela 3.4 apresenta os resultados das análises químicas realizadas, em laboratório exterior, em amostras de cinza comercial fornecidas a 28 de Agosto de 2008, antes (C) e após peneiração no peneiro 500 μ m (CP500).

TABELA 3.4 – ANÁLISE QUÍMICA DE C E CP500

Análise Química [%]		
Material	C	CP500
PF	51,7	10,05
RI	-	58,02
SO ₃	0,37	0,67
Cl	0,18	0,41
SiO ₂	44,42	74,54
Al ₂ O ₃	0,29	0,44
Fe ₂ O ₃	0,15	0,27
CaO	1,24	2,9
MgO	0,42	0,77
MnO	0,11	0,26
P ₂ O ₅	0,38	1,28
TiO ₂	0,04	0,03
Na ₂ O	0,2	0,46
K ₂ O	1,86	4,93

3.4. PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

A produção das argamassas baseou-se nos procedimentos estabelecidos na EN1015-2, 1998 (EN1015-2, 1998), tendo para isso sido utilizada uma misturadora, Figura 3.13. A fase de produção teve início com o humedecimento de todos os utensílios necessários, como sejam o recipiente da misturadora e a pá misturadora.



FIGURA 3.13 – MISTURADORA UTILIZADA PARA A PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

O processo de produção das argamassas encontra-se esquematizado na Figura 3.14. O primeiro constituinte a entrar na misturadora foi a cal aérea, nos casos de argamassa de CAL, e a Cal previamente homogeneizada com a cinza, nos casos de produção das argamassa de Cal com adição de CCA. Em seguida, procedeu-se à introdução da água, ao que se seguiu o processo de mistura. A amassadura tem início a uma velocidade de rotação lenta e ao fim de 15

segundos de mistura adiciona-se a areia, ao que se segue um processo de mistura a velocidade mais rápida durante 30 segundos. Passado este tempo a misturadora pára e retoma o processo por mais dois minutos e trinta segundos.

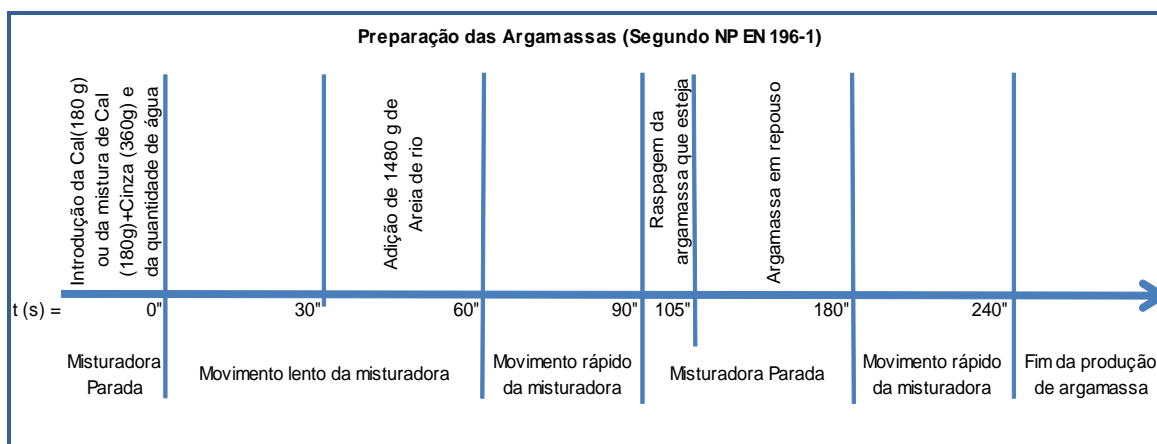


FIGURA 3.14 - ESQUEMA DE INTRODUÇÃO DOS MATERIAIS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE PREPARAÇÃO DAS ARGAMASSAS, (BASEADO EM (COUTINHO, 1999))

Com o objectivo de evitar perda de material durante a amassadura procedeu-se à protecção do recipiente de mistura com plástico durante o processo.

3.4.1. PROVETES PRISMÁTICOS

A preparação dos provetes prismáticos baseou-se no disposto na Especificação LNEC E29-1979 e na NP-EN 196-1. Cada amassadura permitiu a execução de um molde de 3 provetes prismáticos, com 160 x 40 x 40 [mm].

O molde, devidamente oleado e com a alonga colocada, foi posicionado na mesa de compactação e o seu enchimento decorreu em duas fases, sendo que em cada uma delas se procedeu à introdução de argamassa correspondente a metade da sua capacidade, Figura 3.16. Cada uma das camadas de argamassa foi compactada com o auxílio de 60 pancadas.

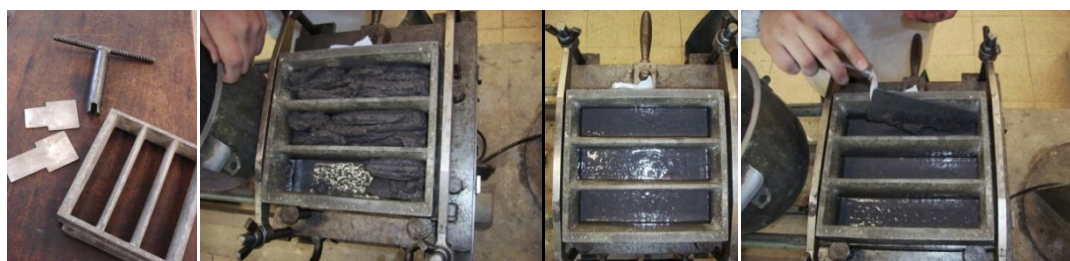


FIGURA 3.15 – FASES DE PREPARAÇÃO DOS PROVETES PRISMÁTICOS

3.4.2. ARGAMASSAS COMO CAMADA DE REVESTIMENTO DE TIJOLOS

A preparação dos provetes de argamassa simulando camadas de revestimento de tijolos foi efectuada recorrendo a uma pequena cofragem que permite a aplicação de argamassa com uma espessura total da ordem de 1,5cm, Figura 3.16(a). Todos os tijolos utilizados encontravam-se isentos de defeitos e foram humedecidos, 10 minutos antes de sobre eles se aplicar a argamassa, com recurso a um borrifador, Figura 3.16(b). Este processo de humedecimento foi repetido 5 minutos antes da aplicação e toda a água em excesso foi removida para evitar a saturação superficial dos tijolos, que caso ocorra dificulta ou impede a adequada aderência da argamassa ao tijolo.

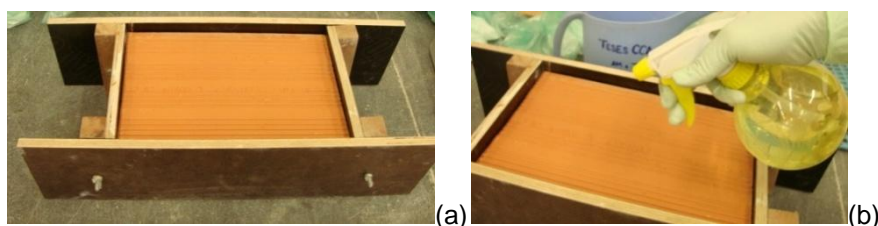


FIGURA 3.16 - PREPARAÇÃO DOS TIJOLOS: COLOCAÇÃO NO MOLDE (A) E HUMEDECIMENTO COM BORRIFADOR (B)

A argamassa foi aplicada em duas camadas, sendo que camada camada foi compactada por recurso a uma colher de pedreiro. Com o objectivo de criar condições favoráveis à garantia de adesão da segunda camada à primeira, a primeira camada não foi regularizada. A última camada foi compacta e regularizada com auxílio de uma régua metálica.

3.5. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

3.5.1. AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

A avaliação da consistência das argamassas foi efectuada através da medição do espalhamento e os procedimentos adoptados basearam-se no disposto na EN1015-3, 1999 (EN1015-3, 1999). A avaliação da consistência foi realizada imediatamente após a produção das argamassas.

Para a realização deste ensaio utilizaram-se os seguintes aparelhos e utensílios: mesa saltante Figura 3.17 (a), molde de aço tronco-cónico de 7 e 10cm de diâmetro e de 5 cm de altura Figura 3.17 (b), varão de aço, colher de pedreiro e craveira de medição.

O ensaio teve início com a limpeza e humedecimento do prato da mesa de espalhamento, do molde de aço tronco-cónico e do varão de aço (Figura 3.18 (a)). Em seguida, posicionou-se o molde tronco-cónico sobre a mesa saltante, tendo o cuidado de o colocar na posição assinalada pelas marcas existentes (Figura 3.17 (b)) e procedeu-se ao seu enchimento em duas camadas,

cada uma delas correspondentes a metade da capacidade do molde. Cada uma das camadas foi apiloada por recurso ao varão de aço com 10 golpes uniformemente distribuídos (Figura 3.18). Terminado o apiloamento da segunda camada, retirou-se o excesso de argamassa com a o auxílio da colher de pedreiro, Figura 3.18. O molde foi então retirado num só movimento, ascendente e firme, e o volante da mesa foi rodado 15 vezes em 15 segundos, levantando e deixando cair o prato da mesa de espalhamento. Após este procedimento, o diâmetro de espalhamento da argamassa fresca foi medido com a craveira, a partir dos 3 diâmetros de referência assinalados no prato da mesa saltante (aqui identificados como D1, D2 e D3), Figura 3.19.

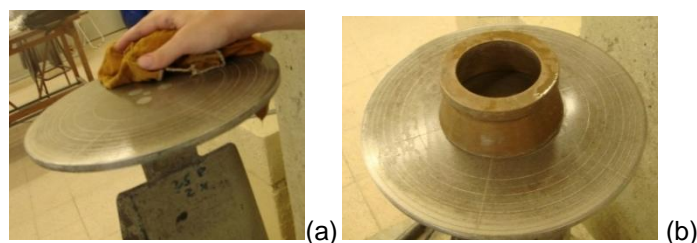


FIGURA 3.17 – HUMEDECIMENTO DA MESA SALTANTE (A) E MOLDE TRONCO-CÔNICO (B)



FIGURA 3.18 - FASES DE EXECUÇÃO DO ENSAIO DE ESPALHAMENTO/AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA



FIGURA 3.19 – FASES DE EXECUÇÃO DO ENSAIO DE ESPALHAMENTO/AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

A expressão que permitiu obter o espalhamento é a seguinte:

$$Espalhamento [\%] = \frac{D_{med} - 100}{100} \times 100$$

EQUAÇÃO 3.2 – CÁLCULO DO ESPALHAMENTO

$$D_{med} = \frac{D1 + D2 + D3}{3}$$

EQUAÇÃO 3.3 – CÁLCULO DO DIÂMETRO MÉDIO DE ESPALHAMENTO

3.5.2. AVALIAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA

O objectivo do ensaio de retenção de água é estimar a percentagem de água que uma argamassa fresca é capaz de reter, após ser submetida a um tratamento de sucção sob condições padronizadas, em que se avalia a percentagem de água retida na argamassa no final do ensaio, depois da utilização de um papel de filtro padronizado como substrato, face à quantidade de água inicialmente presente na argamassa.

O método de avaliação da retenção de água de uma argamassa segue o prescrito na norma (prEN1015-8, 1999), utilizando-se para o efeito o material que se encontra na Figura 3.20e na Figura 3.21.

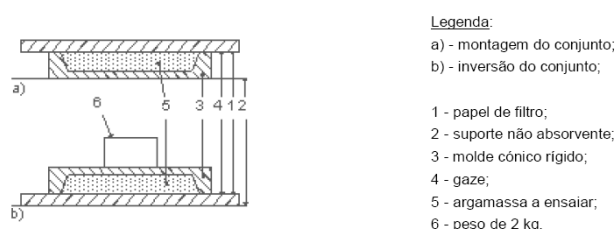


FIGURA 3.20 – ESQUEMA DE ENSAIO, (MARTINS, 2008)

O ensaio teve início com a avaliação da massa do molde cerâmico vazio (m_v), ao que se seguiu o seu preenchimento com argamassa fresca até esta ficar regularizada à capacidade do molde, Figura 3.22(a), e a avaliação da massa do conjunto molde+argamassa (m_c). Em seguida, foram colocadas sobre a argamassa 2 folhas de gaze, Figura 3.22(b), seguidas de 8 folhas de papel de filtro. A gaze foi utilizada para evitar a acumulação de argamassa no papel de filtro directamente em contacto com a argamassa, uma vez que caso isso se verifique pode estar-se a incorrer em erro, dado que se incluirão partículas da argamassa na avaliação da massa de água absorvida pelos papéis de filtro.

Avaliou-se a massa do conjunto acima descrito e, paralelamente, a massa dos papéis de filtro. De seguida inverteu-se o conjunto (molde com argamassa, gaze e papel de filtro) sobre um suporte não absorvente, neste caso, uma mesa metálica, Figura 3.23(a), e sobre o conjunto foi colocado uma massa de 2kg durante 5 minutos, Figura 3.23(b). Decorridos os 5 minutos, removeram-se os papéis de filtro, Figura 3.23(c), e voltou-se a avaliar a massa do conjunto molde+argamassa.

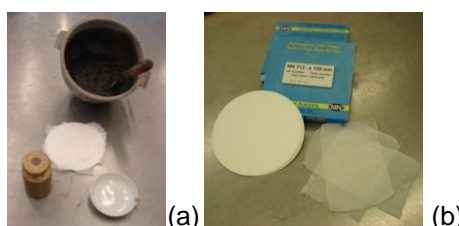


FIGURA 3.21 – MATERIAL UTILIZADO PARA A AVALIAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA (A) E PORMENOR DOS FILTROS E DA GAZE (B)

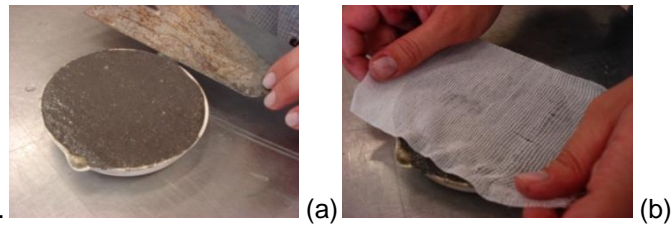


FIGURA 3.22 – NIVELAMENTO DA ARGAMASSA NO MOLDE (A) E APLICAÇÃO DA GAZE (B)

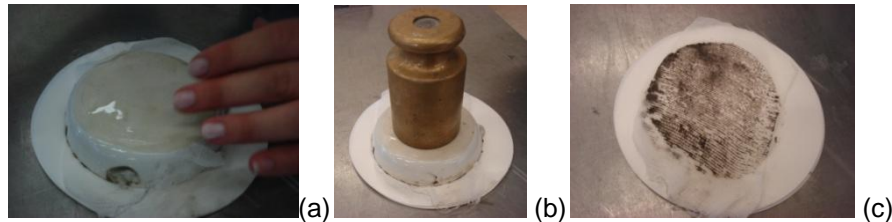


FIGURA 3.23 – INVERSÃO DO CONJUNTO (A), COLOCAÇÃO DO PESO EM CIMA (B) E ASPECTO FINAL DA GAZE E FILTROS (C)

A retenção de água e a quantidade de água presente na argamassa contida no molde é obtida através do conhecimento da massa dos papéis de filtro e dos constituintes das argamassas. A massa de água presente na argamassa é determinada através da Equação 3.4 :

$$m_a = \frac{a_g \times (m_c - m_v)}{\sum_{i=1}^n c_i + a_g} [g]$$

EQUAÇÃO 3.4 – CÁLCULO DA MASSA DE ÁGUA PRESENTE NA ARGAMASSA

Em que:

- m_a - é a massa de água presente na argamassa [g]
- a_g - é a massa de água utilizada na amassadura [g]
- m_c - é a massa do conjunto molde com argamassa [g]
- m_v - é a massa do molde vazio [g]
- c_i - é a massa de cada um dos restantes constituintes da argamassa [g]

A percentagem de água que fica retida é dada pela expressão que relaciona a massa de água presente na argamassa colocada no molde (m_a), a massa das folhas de papel de filtro secas (m_f) e húmidas (m_h):

$$\%R = \frac{m_a - (m_h - m_f)}{m_a} \times 100 [\%]$$

EQUAÇÃO 3.5 – CÁLCULO DA RETENÇÃO DE ÁGUA

3.5.3. AVALIAÇÃO DA EXSUDAÇÃO

A avaliação da exsudação foi efectuada através da introdução de aproximadamente 200ml de argamassa no interior de uma proveta graduada com capacidade de 250 ml. A evaporação de água foi impedida por recurso a película aderente e o conjunto foi conservado em repouso durante 3 horas, (Figura 3.24(a)). Procede-se ao registo do volume de argamassa introduzido na proveta no início do ensaio (v), sem considerar o menisco, e o volume de água exsudado ao fim de 3 horas (v_1), Figura 3.24(b). A exsudação ao fim de 3 horas em repouso é calculada através da seguinte expressão:

$$\% \text{ Exsudação} = \frac{v_1}{v} \times 100$$

EQUAÇÃO 3.6 – CÁLCULO DA PERCENTAGEM DE EXSUDAÇÃO

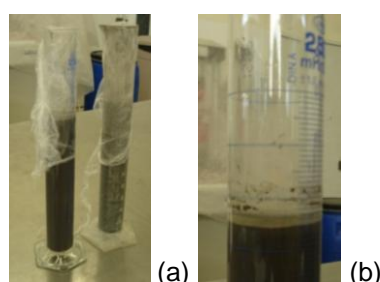


Figura 3.24 – Proveta com argamassa para avaliação da exsudação (a) e pormenor da exsudação (b)

3.5.4. DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLÚMICA APARENTE

A determinação da massa volúmica aparente de argamassas no estado fresco, consiste em avaliar a massa de argamassa compactada num recipiente de volume conhecido.

A determinação da massa volúmica aparente consistiu no enchimento, em três camadas, de um recipiente metálico, de massa conhecida (m_1) e com capacidade de 1 litro (V), com argamassa. Cada camada correspondeu a aproximadamente $\frac{1}{3}$ do volume do recipiente e foi compactada com um varão de compactação por recurso 15 golpes de varão uniformemente distribuidos na argamassa. A última camada foi rasada em movimentos de vaivém com o auxílio de uma colher de pedreiro. Em seguida, limpou-se o exterior do recipiente e procedeu-se à avaliação da massa do (conjunto recipiente+argamassa), (m_2). A massa volúmica aparente da argamassa é dada pela expressão:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

EQUAÇÃO 3.7– MASSA VOLÚMICA APARENTE DA ARGAMASSA FRESCA

3.6. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

3.6.1. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

3.6.1.1. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ULTRA-SONS

A determinação da velocidade de ultra-sons recorreu à utilização do equipamento CNS FARNELL, PUNDIT 6, e foi efectuada por transmissão directa nos provetes prismáticos e de forma indirecta nas camadas de argamassa aplicadas como camadas de revestimento de tijolos cerâmicos. Em ambas as situações, previamente à realização de qualquer medição, procedeu-se à calibração do equipamento e à utilização de material contacto entre os transdutores e a superfície de contacto do provete, Figura 3.25.

A Figura 3.26 e a Figura 3.27 apresentam o processo adoptado na avaliação da velocidade de propagação de ultra-sons, por transmissão indirecta, realizado nas argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos cerâmicos.

A velocidade de propagação de ultra-sons foi avaliada em todos os provetes ensaiados no âmbito das Fases 1 e 2, e para todas as condições de cura estudadas.



FIGURA 3.25 – MATERIAL UTILIZADO PARA DETERMINAR A VELOCIDADE DE ULTRA-SONS

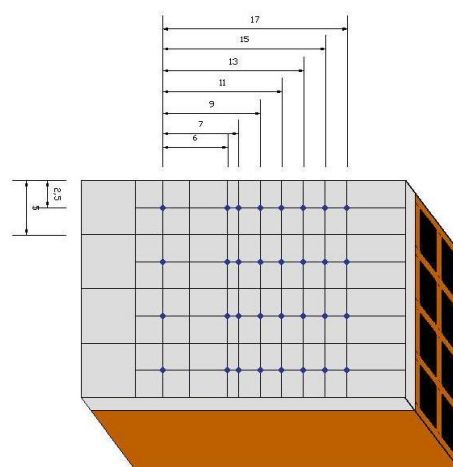


FIGURA 3.26 – ESQUEMA DE MARCAÇÃO DE PONTOS PARA ENSAIO DE ULTRA-SONS



FIGURA 3.27 – ESQUEMA DE ENSAIO DE ULTRA-SONS EM TIJOLOS (PONTOS DE ENSAIO)

3.6.1.2. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO E COMPRESSÃO

A determinação da resistência mecânica à flexão e compressão baseou-se no disposto na EN1015-11 (1999). Para tal todos os provetes ensaiados foram retirados da condição de cura em que se encontravam 15 minutos antes da sua caracterização.

Para avaliação da tensão de rotura à flexão, cada provete foi colocado na máquina centrado e com o eixo longitudinal perpendicular ao eixo dos apoios, Figura 3.28. Em seguida, desceu-se o cutelo da máquina até ficar em contacto com o provete e procedeu-se à aplicação gradual e crescente de força até à rotura do provete, registando-se a força de rotura, Figura 3.29.

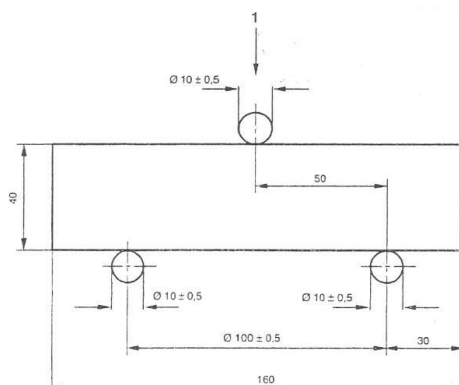


FIGURA 3.28 – ESQUEMA DE COLOCAÇÃO DOS PROVETES (EN1015-11, 1999)



FIGURA 3.29 – FIGURA ILUSTRATIVA DO ENSAIO À FLEXÃO

A tensão de rotura à flexão é dada pela seguinte fórmula:

$$\sigma_{flexão} = \frac{3 \cdot F_{máx}^f \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} = 1,5 \times \frac{F_{máx}^f \cdot L}{b \cdot h^2} [MPa]$$

EQUAÇÃO 3.8 – CÁLCULO DA TENSÃO DE ROTURA À FLEXÃO

Em que:

- $F_{máx}^f$ é a carga máxima ou força na rotura à flexão [N]
- L é a distância entre os apoios [mm]
- b é a dimensão lateral ou largura do provete [mm]
- h é a dimensão do provete paralela ao sentido da carga [mm]

Para a realização do ensaio de determinação da resistência à compressão, utilizaram-se metades dos provetes resultantes do ensaio de flexão. As metades dos provetes foram colocadas, uma de cada vez, na máquina, centradas entre os pratos inferior e superior da mesma (Figura 3.30). Em seguida, procedeu-se à aplicação de força gradualmente crescente até se atingir a rotura do provete, registando-se o respectivo valor da força.



FIGURA 3.30 – FIGURA ILUSTRATIVA DO ENSAIO À COMPRESSÃO

A tensão de rotura à compressão é obtida através da fórmula:

$$\sigma_{compressão} = \frac{F_{máx}^c}{A_c} [MPa]$$

EQUAÇÃO 3.9 – VALOR DA TENSÃO DE COMPRESSÃO

Em que:

- $F_{máx}^c$ é a carga máxima [N]
- A_c é a área da secção transversal onde foi aplicada a força [mm²]

3.6.1.3. DUREZA SUPERFICIAL: ESCLERÓMETRO PENDULAR

A dureza superficial das argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos foi avaliada por recurso a um esclerómetro pendular, Figura 3.31. Este tipo de ensaio é habitualmente considerado como um ensaio não destrutivo ou semi-destrutivo, e baseia-se na

avaliação da reacção do impacto de uma massa contra a superfície que se pretende avaliar a dureza.



FIGURA 3.31 – ESCLERÓMETRO PENDULAR

O método, conforme foi referido, consiste na medição do recuo produzido em consequência do impacto de uma massa de valor contra a superfície em ensaio. O valor do recuo varia consoante a dureza da superfície. Quanto mais brando for o material, mais energia irá absorver em consequência do impacto, pelo que menor será o recuo da massa. Deste modo, quanto maior a dureza superficial do material, maior o recuo registado.

A realização deste ensaio teve início com a marcação de 18 locais de impacto sobre a superfície da argamassa aplicada nos tijolos a ensaiar, de acordo com o esquema da Figura 3.32 (a).

Para a realização do ensaio, os tijolos foram posicionados sobre a bancada encostados a uma parede do laboratório, Figura 3.32 (b). Em seguida, o esclerómetro foi posicionado firmemente sobre a camada de argamassa e pressionou-se o botão que liberta o pêndulo. Após o impacto o pêndulo recua e o valor verificado foi registado.

A sequência adoptada na realização deste ensaio em cada camada de revestimento seguiu uma ordem previamente definida. Numa primeira fase avaliou-se a dureza superficial nos pontos numerados de 1 a 5 na fila de cima, de seguida os pontos A a D da fila de cima. Posteriormente foram ensaiados os pontos 1 a 5 da fila de baixo e por último os pontos A a D da fila de baixo, conforme a Figura 3.32 (a). Para melhor compreensão a Figura 3.32 (b) apresenta o pormenor de avaliação da dureza superficial no ponto B da fila de baixo.

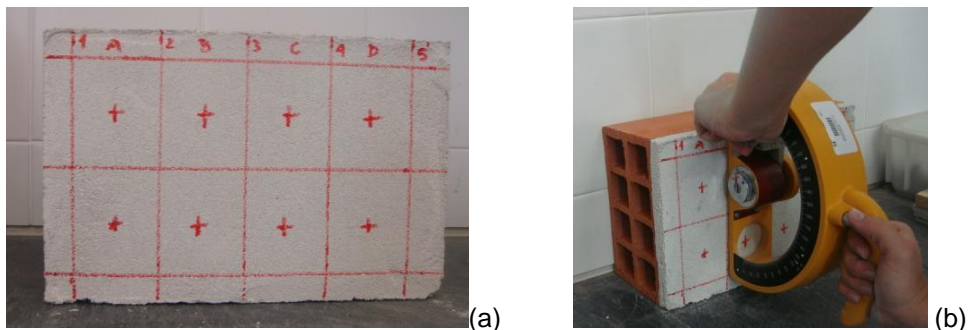


FIGURA 3.32 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS PARA ENSAIAR A DUREZA SUPERFICIAL (A) E COLOCAÇÃO DO ESCLERÓMETRO (B)

3.6.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

3.6.2.1. ABSORÇÃO ÁGUA POR CAPILARIDADE

A avaliação da absorção de água por capilaridade dos provetes prismáticos de argamassa baseou-se no estabelecido na EN1015-18, 1999. (EN1015-18, 1999).

Em todas as faces laterais dos provetes ensaiados procedeu-se à marcação de uma linha localizada a $5\text{mm} \pm 1\text{mm}$ de um dos topos do provete, com o objectivo de controlar a espessura do provete que posteriormente ficou em contacto com a água durante o ensaio.

Os provetes foram secos em estufa a $60^\circ \pm 5^\circ \text{C}$ até atingirem massa constante e a sua massa seca foi avaliada após o seu arrefecimento em exsiccador (M1). Os provetes foram então posicionados na vertical sobre varetas de vidro, com diâmetro de 5mm, localizadas no fundo de um tabuleiro. Procedeu-se então à introdução de água no tabuleiro até cobrir a altura das varetas acrescida de $5\text{mm} \pm 1\text{mm}$ para que o nível da água fosse coincidente com a marca horizontal feita nos provetes, Figura 3.33 (a).

A introdução da água no tabuleiro foi realizada com recurso a um esguicho, com o objectivo de controlar a altura da lâmina da água, Figura 3.33(b). O nível de água no tabuleiro foi controlado e mantido periodicamente de modo a garantir sempre a mesma altura de água.

O tabuleiro contendo os provetes foi coberto com uma caixa de plástico de forma a evitar a perda de água por evaporação, Figura 3.33(c).

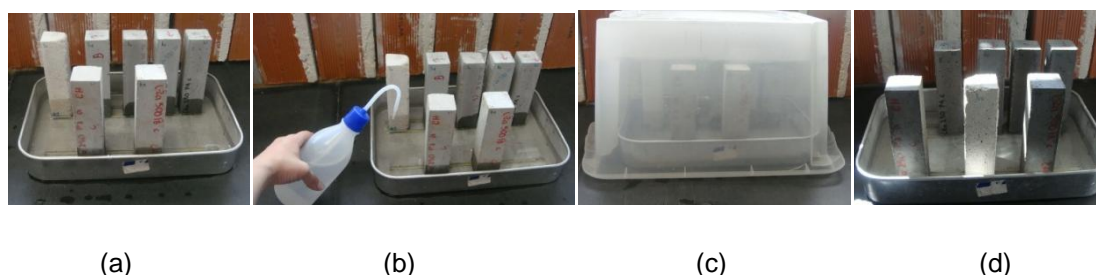


FIGURA 3.33 – SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE: (A) INSTANTES INICIAIS DO ENSAIO, (B) REPOSIÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA, (C) ACONDICIONAMENTO DOS PROJETES, (D) ASPECTO DOS PROJETES APÓS ABSORÇÃO DE ÁGUA EM TODA A SUA ALTURA

A absorção de água dos provetes e altura de ascensão da franja líquida foram avaliadas ao fim de: 5min, 10min, 15min, 30min, 1hora, 3 horas, 5 horas, 6 horas, 6 horas e 30 min, 7 horas, 7 horas e 30 min, 8 horas, 12 horas, 24 horas, 48 horas e daí para a frente de 24 em 24 horas até atingirem massa constante, a contar desde o instante inicial em que se colocam os provetes em contacto com a água.

3.6.2.2. POROSIDADE E MASSA VOLÚMICA

A avaliação da porosidade e da massa volúmica das argamassas foi realizada de acordo com o disposto na RILEM I.1 (1980). Os provetes ensaiados corresponderam às O ensaio foi metades dos provetes utilizados na avaliação da resistência à flexão das argamassas, aos 28 dias de idade.

Os provetes foram previamente secos em estufa a $60^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$, durante um período de 72h (tempo necessário para atingirem massa constante), arrefecidos em exsicador e a sua massa seca avaliada, m_1 . Em seguida, os provetes foram introduzidos num exsicador ligado a uma bomba de vácuo onde se manteve uma pressão de 20mm Hg, durante 24 horas, com o objectivo de retirar o ar contido nos poros, Figura 3.34. Findo este período de 24 horas e mantendo a pressão, introduziu-se água (Figura 3.34) no exsicador até à total imersão dos provetes.

Os provetes permaneceram imersos durante 24 horas à pressão referida. Após 24 horas, os provetes foram mantidos imersos à pressão atmosférica até à avaliação da sua massa saturada com superfície seca (m_3) e à pesagem hidrostática (m_2).



FIGURA 3.34 – PROVETES NO EXSICADOR LIGADO A BOMBA DE VÁCUO E ENTRADA DE ÁGUA PARA O EXSICADOR

As equações seguintes permitem calcular a porosidade, a massa volúmica real e a massa volúmica aparente das argamassas:

$$P_{ab} = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \times 100 [\%]$$

EQUAÇÃO 3.10 – CÁLCULO DA POROSIDADE ABERTA

$$M_{vol.real} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times 10^3 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

EQUAÇÃO 3.11 – CÁLCULO DA MASSA VOLÚMICA REAL

$$M_{vol.real} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times 10^3 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

EQUAÇÃO 3.12 – CÁLCULO DA MASSA VOLÚMICA APARENTE

3.6.2.3. ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO

A determinação da absorção de água sob baixa pressão permite avaliar a permeabilidade de revestimentos de argamassa aplicados sobre tijolos.

Os tijolos revestidos com as argamassas a ensaiar foram colocados na vertical e os cachimbos devidamente posicionados, Figura 3.35. Em cada camada de argamassa foram posicionados 3 cachimbos.

Com auxílio de um esguicho, procedeu-se o enchimento dos cachimbos mantendo o tijolo ligeiramente inclinado para evitar a formação de bolhas de ar. Imediatamente após o enchimento os cachimbos, accionou-se o cronómetro dando-se início ao ensaio. Foram efectuadas leituras da quantidade de água absorvida aos 15", 30", 1'30", 2', 3', 4', 5', 7', 10', 12', 15', 30', 60', 90', 120', 180', 210', e 240'.

Todas as argamassas submetidas a cura seca e em ambiente de laboratório, registou-se a absorção da totalidade de água em menos de 5'.

Os provetes submetidos a cura húmida forma previamente secos em estufa a $60^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$, até atingirem massa constante, que se verificou ocorrer ao fim de 72 horas. Após este processo, os tijolos foram deixados arrefecer ao ar. Nestes casos, a absorção da água deu-se de forma mais lenta.

O valor da absorção de água apresentado no trabalho corresponde ao valor médio dos resultados obtidos nos 3 cachimbos utilizados para cada situação em análise.

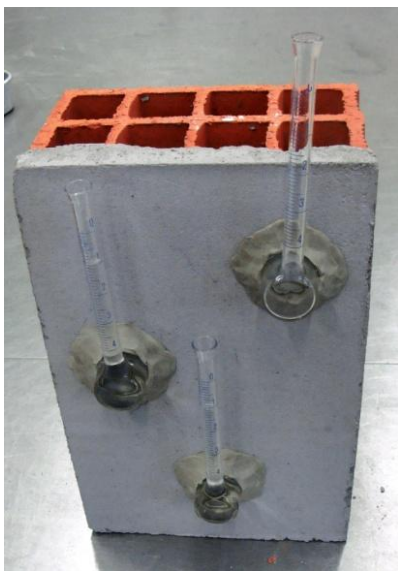


FIGURA 3.35 – AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ARGAMASSAS APLICADAS COMO CAMADAS DE REVESTIMENTO DE TIJOLOS

3.6.2.4. SECAGEM APÓS IMERSÃO EM ÁGUA

Os provetes utilizados no estudo da cinética de secagem, das argamassas aos 28 dias de idade, corresponderam a metades resultantes da determinação da resistência à flexão, tendo se procedido à impermeabilização das suas faces laterais com recurso à resina epoxi (Sikadur 32 N). Para a aplicação da resina a superfície de rotura do provete foi previamente regularizada, utilizando para tal uma lixa fina, retirando-se as partículas soltas no final.

A aplicação da resina foi efectuada em duas fases, desfasadas de 24 horas. Cada fase correspondeu à aplicação de uma camada fina de resina. Decorridas 24 horas da aplicação da segunda camada de resina, os provetes foram secos em estufa a $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 72 horas, e a sua massa seca avaliada. Em seguida, os provetes foram imersos em água durante 48 horas e a sua massa avaliada no final deste período. Procedeu-se então ao isolamento de uma das faces não impermeabilizada com o objectivo de garantir que a secagem decorreria segundo um fluxo unidireccional, Figura 3.36, ao que se seguiu a avaliação da evolução da massa dos provetes até à sua estabilização. Todos os ensaios de secagem foram realizados num ambiente com $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ de humidade relativa.



FIGURA 3.36 – PREPARAÇÃO DE PROVETES PARA ENSAIO DE SECAGEM

O registo da evolução da massa dos provetes permite o traçado da curva de secagem de cada provete, que corresponde à expressão do teor em água ao longo do tempo, e o cálculo do índice de secagem (I.S.) (Figura 3.37).

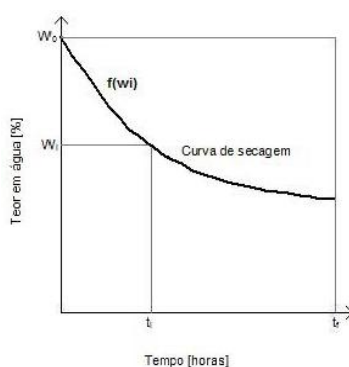


FIGURA 3.37 - EXEMPLO DE CURVA DE SECAGEM ((AGOSTINHO, 2008))

O teor em água do provete, W_i , no instante t_i é obtido pela seguinte equação:

$$W_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 [\%]$$

EQUAÇÃO 3.13 – FÓRMULA REPRESENTATIVA DA CURVA DE SECAGEM

Na qual:

m_i – massa do provete registada ao fim do tempo i [g];

m_{seca} – massa do provete seco em estufa [g].

A determinação do índice de secagem (com base nas curvas de secagem) é efectuada através da seguinte equação:

$$I.S. = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f(W_i) \times dt}{W_0 \times t_f}$$

EQUAÇÃO 3.14 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE SECAGEM

Sendo que:

t_0 – início do ensaio [h];

t_f – tempo final do ensaio [h];

w_0 – quantidade de água inicial, expressa em percentagem relativamente à massa seca [%];

$f(w_i)$ – quantidade de água no interior do provete em função do tempo, expressa em percentagem relativamente à massa seca.

3.6.3. OUTRAS CARACTERÍSTICAS

3.6.3.1. ESPESSURA CARBONATADA

A carbonatação é uma reacção química entre a cal hidratada (Ca(OH)_2) e o dióxido de carbono (CO_2) responsável pelo endurecimento, e resistência mecânica, das argamassas de cal aérea, cujo desenvolvimento ocorre de forma lenta e gradual. Este processo conduz à redução do pH da argamassa.

A avaliação da espessura carbonatada permite controlar a evolução do processo de carbonatação de uma argamassa. A fenolftaleína, reagente utilizado neste âmbito, é um indicador químico que varia a sua cor consoante o meio em que actua: em meio alcalino (acima de pH 8) adquire cor rosa intensa; em meio neutro ou ácido permanece incolor. Assim, a

coloração rosa está associada a zonas em que o processo de carbonatação não teve início, ou encontra-se em fase incipiente de desenvolvimento, e as zonas incolores correspondem a situações em que o processo de carbonatação se encontra concluído em numa fase de desenvolvimento que permite a sua detecção por recurso ao indicador de fenolftaleína. A carbonatação é desenvolve-se gradualmente no tempo, do exterior para o interior dos provetes, e depende das características das argamassas, da espessura e das condições de cura.

A avaliação da espessura carbonatada foi realizada imediatamente após a determinação da resistência à flexão. A superfície de rotura da metade dos provetes resultantes daquele ensaio foram pulverizadas com uma solução de fenolftaleína com uma concentração de 0,2%, Figura 3.38 (a), ao que se seguiu a quantificação da espessura carbonatada. A avaliação da espessura carbonatada foi realizada a meio de cada uma das quatro arestas da superfície de rotura em que foi aplicado o indicador de fenolftaleína, Figura 3.38 (b) e (c). Considerou-se como espessura carbonatada de um dado provete o valor médio das quatro medições efectuadas.

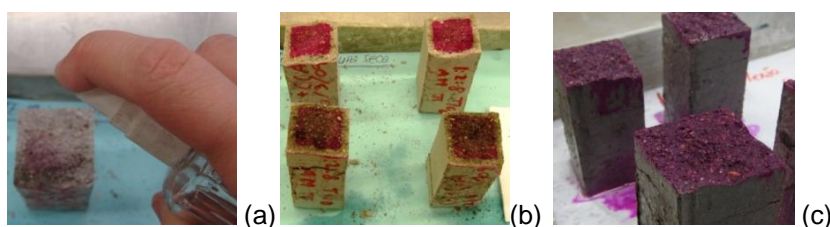


FIGURA 3.38 – PULVERIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE COM SOLUÇÃO DE FENOLFTALEÍNA (A) ASPECTO DA ESPESSURA CARBONATADA (B) E REACÇÃO EM PROVETES DE CURA HÚMIDA (C)

3.6.3.2. DETERMINAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À FENDILHAÇÃO/FISSURAÇÃO (MARTINS, 2008) citando (MARTINS, et al., 2005) descreve fendilhação como “*qualquer abertura longitudinal que atravessa toda a espessura do revestimento, chegando a rompê-lo, tornando possível distinguir nitidamente as duas partes do elemento construtivo*”. Por outro lado, o conceito de fissuração difere do anterior, pelo facto de corresponder à ocorrência de aberturas curtas, finas e com desenvolvimento discreto, em que não é possível distinguir as duas partes do elemento construtivo, por ter uma abertura mais estreita que as fendas e afectar unicamente a parte superficial do revestimento.

O desenvolvimento de fissuração e fendilhação pode ocorrer a partir do instante em que a argamassa é aplicada em determinado suporte, uma vez que a partir desse momento começa a ocorrer transferência da água presente na argamassa para o suporte (sucção). A evaporação da água das argamassas pode também contribuir para a abertura de fissuras ou fendas, dado que origina variações volumétricas e criação de poros. Muito embora a ocorrência de fendilhação e fissuração não implique necessariamente a ocorrência de retracção, a retracção das argamassas é uma causa provável para o aparecimento dessas aberturas.

(CARNEIRO, et al., 1997) referem que existe uma relação entre a massa volúmica da areia, a quantidade de poros e o risco de fissuração. Segundo este autor, a redução da relação água/aglomerantes poderá reduzir o risco de fissuração por retracção hidráulica.

A ocorrência de fendilhação/fissuração foi controlada em todas as argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos, Figura 3.39 , através do registo de todas as ocorrências e a avaliação da sua abertura, por recurso a uma lupa binocular portátil (fissurómetro), Figura 3.40(a), em pelo menos 3 pontos distintos por fenda/fissura. A selecção dos pontos de medição teve como critério avaliar as maiores aberturas ocorridas. A medição da abertura das fissuras/fendas foi realizada posicionando o binóculo de tal forma que a escala maior ficasse perpendicular à abertura, Figura 3.40.

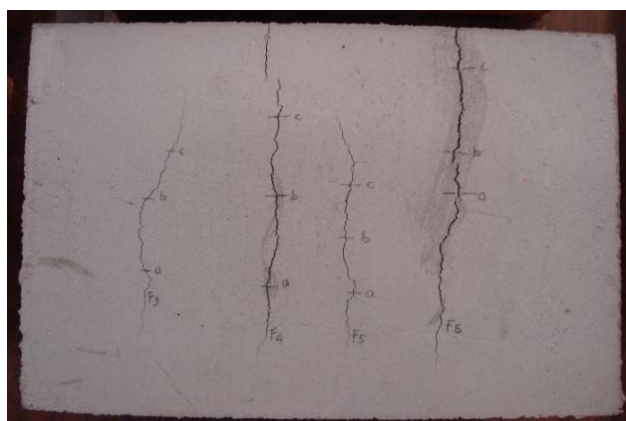


FIGURA 3.39 – TIJOLO EM QUE OCORREU FENDILHAÇÃO

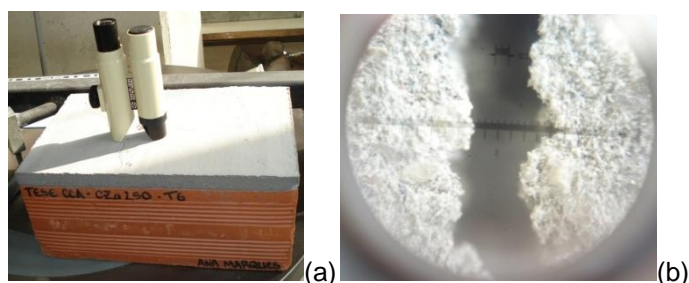


FIGURA 3.40 – FISSURÓMETRO (A) E VISTA DE UMA FISSURA ATRAVÉS DO FISSURÓMETRO (B)

3.6.3.3. ADERÊNCIA E COMPATIBILIDADE ENTRE SUPORTE E ARGAMASSA

As condições de aderência de uma argamassa ao suporte são potenciadas quando se garante condições para que as partículas finas juntamente com a água penetrem nos interstícios da suporte, (VEIGA, 1997) e (FARIA RODRIGUES, 2004). Melhorar a aderência da argamassa ao suporte pode passar por trabalhar a plasticidade do material controlando a razão água/ligante ou actuando sobre o ligante, quer na quantidade quer na finura deste. O aumento da plasticidade consegue-se, conforme foi dito, por aumento do teor de água na amassadura. No caso das

argamassas pobres em ligante esta melhoria só se consegue com um ponto ideal da relação de água/ligante que não afecte as restantes propriedades como resistência e trabalhabilidade (MARTINS, et al., 2006).

O desempenho ao longo do tempo de uma argamassa depende fortemente da aderência ao suporte sobre o qual é aplicada. Deste modo, este desempenho é condicionado não só pelas características da argamassa como também do suporte, isto é pela compatibilidade física, mecânica e química da argamassa ao suporte. Note-se também que o desempenho da argamassa também é condicionado pelas exigências (ex.: preenchimento de juntas, revestimento) que tem de satisfazer e pelas condições de aplicação, nomeadamente pela rugosidade da superfície sobre a qual é aplicada a argamassa. Em termos físicos pode-se referir como exemplo a capacidade de absorção e permeabilidade do suporte, características que influenciam a selecção da argamassa a aplicar. Relativamente à compatibilidade mecânica, a argamassa a aplicar deverá ter um comportamento mecânico que permita a adequada transmissão e distribuição de tensões, ou seja, que “acompanhe” o suporte. Em termos químicos, a compatibilidade procura impedir a degradação do suporte, nomeadamente no que se refere a fenómenos de cristalização de sais desencadeados pelo transporte de sais solúveis para o interior das alvenarias responsáveis pela sua degradação (VEIGA, 1997), (LITO, et al., 2006).

(BAUER, et al., 2005) propõe em estudo dedicado a argamassas, que se entenda a compatibilidade e consequente aderência ao suporte em três fases distintas:

- a) Adesão inicial: imediatamente após a aplicação da argamassa no suporte esta permanece “aderida”, não sendo este facto sinónimo da sua adesão a longo prazo, este fenómeno de adesão inicial fica a dever-se à difusão de partículas da argamassa e adsorção das mesmas pelos poros do suporte em que é aplicada;
- b) Adesão, propriamente dita, que consiste no endurecimento e diminuição da plasticidade da argamassa e que advém do decorrer do tempo após a aplicação;
- c) Aderência, caracterizada por ser o processo que leva à perda de água por evaporação por parte da argamassa e por absorção do suporte em que é aplicada, e que culmina com o endurecimento total da mesma.

Conforme foi referido, a aderência é determinante para o adequado desempenho das argamassas e depende da sua compatibilidade aos suportes onde vão ser aplicadas. A avaliação da aderência é frequentemente efectuada por recurso ao ensaio “pull-off” (arrancamento). No presente estudo não se efectuou o ensaio de arrancamento, uma vez que não se verificou aderência em todas as argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos.

3.7. CONDIÇÕES DE CURA

A selecção das condições de cura e do período de permanência dos provetes nos moldes foi efectuada tendo por orientação geral o disposto na ASTM 593-06 e no “Caderno de Encargos para o Fornecimento e Recepção de Pozolanas”.

A ASTM 593-6 estabelece que a desmoldagem dos provetes deverá ter lugar 7 dias após a sua preparação e que deverão ser conservados até à desmoldagem numa câmara com vapor de água a $54 \pm 2^\circ\text{C}$. Segundo esta norma, após desmoldagem, os provetes deverão ser conservados até à data de ensaio num ambiente à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e com uma humidade relativa de 95 a 100%.

O “Caderno de Encargos para o Fornecimento e Recepção de Pozolanas”, estabelece que os provetes devem ser conservados nos moldes, por um período de 24 a 72h, num ambiente com $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ e 95% de humidade relativa, sendo referido que os moldes deverão ser cobertos por uma chapa metálica. De acordo com este documento, os provetes após desmoldagem devem ser conservados imersos em água a $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ até à data de ensaio.

No presente estudo, todos os provetes prismáticos foram desmoldados 7 dias após a sua execução e a cofragem utilizada nas argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos foram removidas 1 hora após a conclusão da aplicação da argamassa.

Todos os provetes da argamassa de cal aérea utilizada como referência no presente foram conservados, antes e após desmoldagem, num ambiente à temperatura de $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, com humidade relativa da ordem de $50\% \pm 5\%$. Estas condições são referidas neste estudo como cura seca.

Os provetes prismáticos utilizados na Fase 1 do estudo, destinados à avaliação da influência da granulometria da cinza na reactividade pozolânica, foram conservados num ambiente à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, com uma humidade relativa de 95 a 100%, desde a sua produção até à data de ensaio. Estas condições são referidas neste estudo como cura húmida.

Na Fase 2 estudaram-se as seguintes 3 condições de cura:

- cura seca – CS – temperatura de $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $50\% \pm 5\%$;
- cura húmida – CH – temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de 95 a 100%;
- cura ambiente – CA – obtida conservando os provetes em ambiente de laboratório, não climatizado, desde a sua produção até à data de ensaio, Figura 3.41.



FIGURA 3.41 – CONDICIONAMENTO DE PROJETOS E TIJOLOS EM CURA AMBIENTE

A Fase 2 decorreu durante os meses de Julho e Agosto de 2010, sendo que em laboratório a temperatura à data das amassaduras rondou os 35°C.

4. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DA CINZA NA REACTIVIDADE POZOLÂNICA - FASE 1

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esta fase teve como objectivo estudar a influência da granulometria da cinza na acção pozolânica e com base nos resultados obtidos seleccionar duas formulações de argamassa de cal com cinza de casaca de arroz a utilizar na Fase 2. Nesta Fase 1, a preparação e caracterização da cinza de casaca de arroz envolveram extenso trabalho experimental e incluíram nas seguintes etapas:

- peneiração mecânica da cinza de casaca de arroz comercial (C) através dos peneiros de abertura 500µm e 250µm, por um período de 10 minutos. A cinza passada no peneiro de abertura 500 µm foi designada por CP500 e a passada no peneiro 250µm foi designada por CP250;
- moagem da cinza CP500 por recurso à máquina de desgaste de Los Angeles, com o objectivo de incrementar a finura da cinza. Na sequência deste processo de moagem foram obtidas as cinzas designadas por CPm15, CPm30, CPm60 e CPm75, que correspondem a períodos de moagem de 15min., 30min, 60min. e 75min., respectivamente;
- após a prévia preparação da cinza através do processo de moagem, procedeu-se ao fraccionamento de CPm75 por peneiração através dos peneiros 500µm, 250µm, 125µm e 75µm. Este processo levou à obtenção de CM500, CM250, CM125 e CM75 constituídas por material de CPm75 passado, respectivamente, nos peneiros 500µm, 250µm, 125µm e 75µm.

As cinzas CM500, CM250, CM125 e CM75 foram utilizadas na formulação das argamassas, A500, A250, A125 e A75, respectivamente, e as cinzas CP500 e CP250 foram utilizadas na produção das argamassas P500 e P250, respectivamente. Todas estas argamassas apresentam consistência da ordem de 165 ± 5 mm e a seguinte formulação: 180g de cal aérea hidratada, 360g de cinza de casaca de arroz, 1480g de areia de rio (traço ponderal da ordem de 1:2:8, Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS NA FASE 1

Argamassa Designação	Traço Ponderal								Razão Água/(mistura ligante)*
	Cinza de Casca de Arroz								
	Cal	CM500	CP500	CM250	CP250	CM125	CM75	Areia de rio	
									*(cal ou cal+cinza)
Cal	1	-	-	-	-	-	-	8	1,83
A500	1	2	-	-	-	-	-	8	1,15
P500	1	-	2	-	-	-	-	8	1,15
A250	1	-	-	2	-	-	-	8	1,15
P250	1	-	-	-	2	-	-	8	1,15
A125	1	-	-	-	-	2	-	8	1,14
A75	1	-	-	-	-	-	2	8	1,09

As características destas argamassas formuladas com cinza formam objecto de análise comparativa face às características da argamassa de cal aérea. A caracterização no estado fresco incluiu a avaliação da: consistência por espalhamento, retenção de água, massa volúmica aparente e exsudação.

A influência da finura da cinza na reactividade pozolânica baseou-se na avaliação da velocidade de propagação de ultra-sons e da resistência à flexão e compressão, aos 14 e 28 dias de idade das argamassas. A caracterização no estado endurecido das argamassas nesta fase foi efectuada com base na caracterização de provetes prismáticos submetidos a cura húmida.

4.2. PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ

Diversos autores (ALMEIDA, 2008), (VELOSA, 2006), (FARIA RODRIGUES, 2004), (KIELING, et al., 2009), (AMPATZIOGLOU, et al., 2010)) referem que o incremento da finura da cinza, e consequentemente o aumento da sua superfície específica, pode contribuir para o incremento da reactividade pozolânica. Deste modo, entendeu-se que se deveria proceder à moagem da cinza com o objectivo de reduzir a dimensão das suas partículas. O processo de moagem foi controlado através da realização de análises granulométricas de amostras de cinza seca em estufa, a $60^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ até atingir massa constante. A peneiração foi realizada em amostras de $500\text{g} \pm 0,1\text{g}$, durante 10 minutos, utilizando os peneiros $500\text{ }\mu\text{m}$, $250\text{ }\mu\text{m}$, $125\text{ }\mu\text{m}$, $75\text{ }\mu\text{m}$, e $63\text{ }\mu\text{m}$.

Segundo (FARIA RODRIGUES, 2004), a moagem da cinza e consequente diminuição das partículas com maior granulometria justifica-se porque permite aumentar a superfície específica que *“é importante, porque uma maior área superficial favorece uma maior reactividade, por existir uma maior área de contacto entre as partículas reagentes.”*

LEA em (HEWLETT, 2003), ensaiou pozolanas com diferentes superfícies específicas, tendo medido a reactividade através da fixação de Ca(OH)_2 durante 180 dias e verificou que ao fim de 28 dias já existia uma correlação entre a superfície específica e a reactividade do material, quanto maior a superfície específica maior a área de reacção e por isso maior a reactividade do material.

O processo de moagem teve como base a cinza obtida após peneiração no peneiro de abertura 500 μm (CP500), eliminando a presença das partículas da cinza comercial (C) retidas no peneiro 500 μm . Este processo prévio de preparação da cinza levou ao desperdício de aproximadamente 10% da massa inicial de cinza introduzida.

No presente estudo a moagem da cinza de casca de arroz CP500 foi realizada por recurso à Máquina de Los Angeles (Especificação LNEC E237-1970). A moagem da cinza poderá permitir reduzir o desperdício, uma vez que ao diminuir a dimensão das partículas permite que se obtenha uma maior percentagem de elementos inferiores a 75 μm e diminuir os que ficam retidos nos peneiros com malha de maior dimensão. Este tipo de moagem tem sido amplamente utilizado em estudos de betões e argamassas formulados com adições pozolânicas ((TASHIMA, et al., 2009), (SAMPAIO, et al., 2000), (SOUSA, 2005)) facto que justificou a sua adopção no presente trabalho.

O processo de peneiração e moagem compreendeu 3 fases:

1. peneiração da cinza de casca de arroz comercial (C) através dos peneiros de abertura 500 μm e 250 μm , por um período de 10 minutos. A cinza passada no peneiro de abertura 500 μm foi designada por CP500 e a passada no peneiro 250 μm foi designada por CP250 (Gráfico 4.1);
2. moagem da cinza CP500 por recurso à máquina de desgaste de Los Angeles, com o objectivo de incrementar a finura da cinza utilizando 6 esferas de aço;
3. moagem da cinza CP500 por recurso à máquina de desgaste de Los Angeles, com o objectivo de incrementar a finura da cinza utilizando 10 esferas de aço.

A cinza CP500 foi introduzida no tambor da máquina de desgaste de Los Angeles e sujeita à acção de desgaste durante um período total de 75 minutos, fraccionado em períodos de 15 minutos. De 15 em 15 minutos, procedeu-se à avaliação da granulometria da cinza de casca de arroz. A moagem foi realizada recorrendo a esferas de aço cujo com uma massa de 400g/esfera. O número de esferas utilizado durante a moagem não foi sempre o mesmo. Iniciou-se a moagem com 6 esferas de aço, tendo estas sido utilizadas entre os 0 minutos e os 45 minutos de moagem. A granulometria foi avaliada ao fim de cada 15 minutos de moagem, ou seja, aos 15 minutos (CPm15), 30 minutos (CPm30) e aos 45 minutos (CPm45). A partir desse momento

procedeu-se à moagem recorrendo a 10 esferas de aço, sendo este o número total de esferas que foram utilizadas até ao fim do ensaio (CPm60 e CPm75).

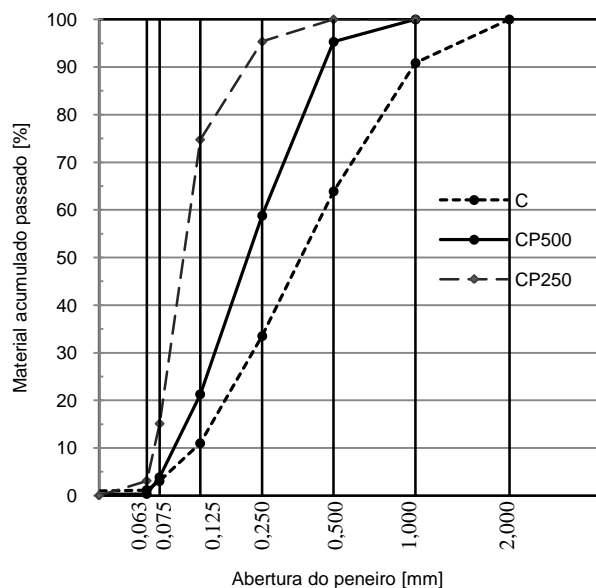


GRÁFICO 4.1 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DA CINZA COMERCIAL (C) E DE CP500 E POSSÍVEL CURVA DE CP250

O Gráfico 4.2 apresenta a evolução da granulometria de CP500 na sequência da sua moagem durante 15, 30, 60 e 75 minutos de moagem, respectivamente, CPm15, CPm30, CPm60 e CPm75.

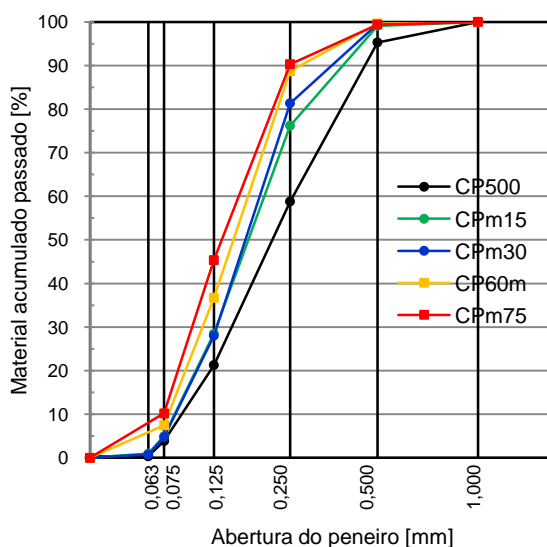


GRÁFICO 4.2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE CP500 ANTES E APÓS VÁRIAS FASES DO PROCESSO DE MOAGEM (CPm15, CPm30, CPm60 E CPm75)

Como se pode observar no Gráfico 4.2. a primeira moagem, que corresponde à passagem de da cinza tipo CP500 para a cinza CPm15, corresponde aquela em que se verifica maior redução da granulometria, sendo mais evidente para as partículas cujas dimensões se encontram compreendidas entre 125µm a 500µm, tendo a percentagem de material acumulado nos peneiros com estas aberturas sofrido um aumento de 34% e 30% respectivamente. Os 15 minutos de moagem seguintes, ou seja, a passagem dos 15 minutos de moagem para os 30 minutos acumulados, poucas alterações trouxeram à distribuição granulométrica da cinza, sendo que as mais evidentes e significativas se deram no aumento da percentagem de partículas com dimensões inferiores a 250 µm.

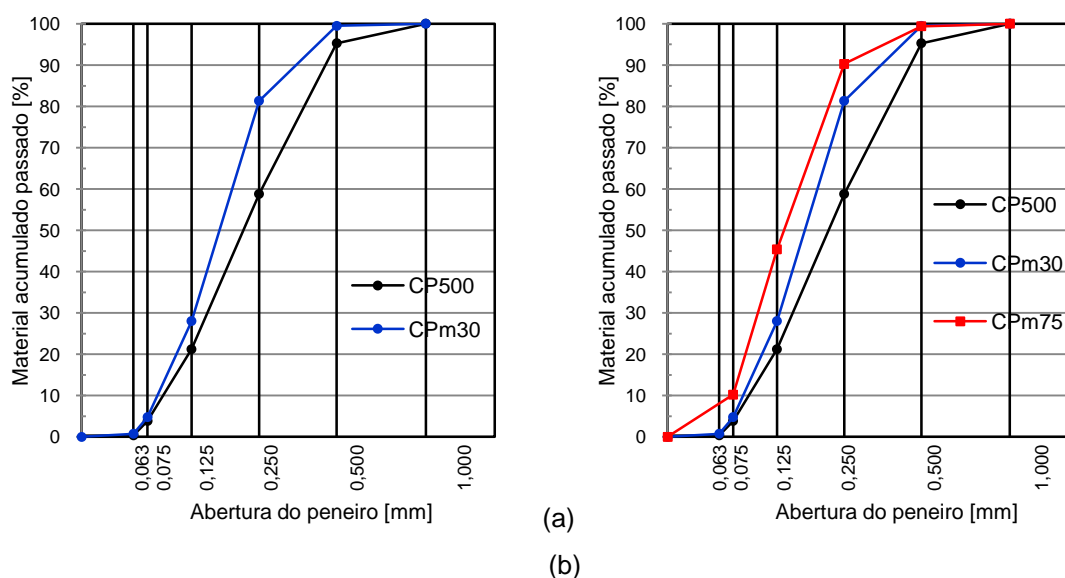


GRÁFICO 4.3 - TRANSFORMAÇÃO NAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE CP500

O recurso às 6 esferas de aço terminou ao fim de 45 minutos de moagem, devido ao facto de dos 30 para os 45 minutos, a moagem realizada não ter alterado de forma relevante a granulometria de CPm30. O Gráfico 3.1(a) apresenta o efeito de 30 minutos de moagem na granulometria de CP500.

Foi o facto de não se registar alteração da granulometria de cinza mantendo as 6 esferas e aumentando o tempo, que fez com que se aumentasse o número de esferas na Máquina de Los Angeles. Assim, passou-se de 6 para 10 esferas, sendo estas utilizadas até aos 75 minutos de moagem, conforme já se referiu. Este ponto representa a passagem da 1ª para a 2ª fase do processo de moagem. No cômputo geral, a primeira fase de moagem foi responsável pelo incremento da quantidade de cinza com dimensões entre 0,125mm e 0,500mm.

Introduzidas as restantes esferas no tambor do moinho, iniciou-se o período de moagem correspondente aos 45-60 minutos (CPm60). Esta fase do processo de moagem originou alteração da granulometria da cinza, um pouco por todo o seu desenvolvimento. Registou-se

incremento do material acumulado passado na generalidade dos peneiros utilizados, mesmo naqueles de menores dimensões, onde não se tinha verificado grandes alterações até CPm45.

Os últimos 15 minutos de moagem, correspondentes a CPm75, fizeram-se notar essencialmente ao nível do material passado através do peneiro 125 μ m, onde se verificou um ligeiro incremento (Gráfico 4.3 (b)).

A análise comparativa da cinza antes do processo de moagem (CP500) e a obtida no final deste processo (CPm75) permite verificar que este processo foi eficaz no que diz respeito à redução das dimensões das partículas de cinza, Figura 4.1. De facto, ao fim dos 75 minutos de moagem verifica-se que este processo, fruto do aumento no número de esferas utilizado, permite que se obtenha uma maior percentagem de material com dimensão inferior a 75 μ m.

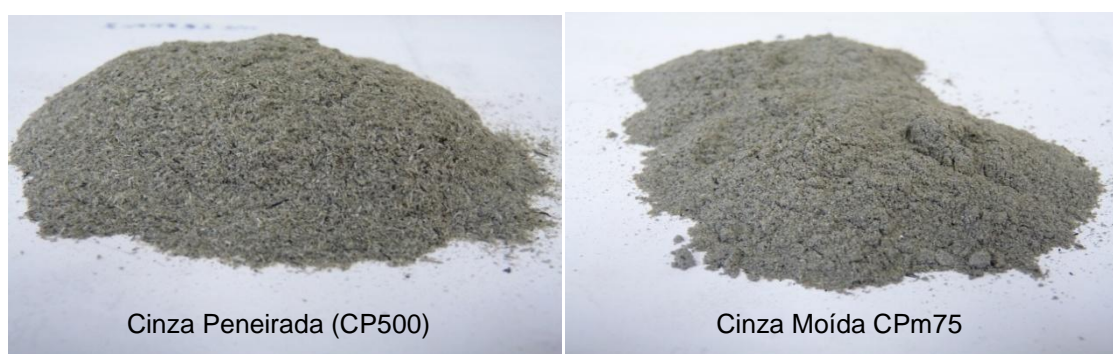


FIGURA 4.1 – ASPECTO DA CINZA CP500 E CPm75

Terminado o processo de moagem, a cinza CPm75 foi fraccionada por peneiração, em que se recorreu aos peneiros 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m e 75 μ m.

Cada processo de peneiração de CPm75 foi realizado sobre amostras de 400g e durante 10 minutos. A cinza CPm75 passada nos peneiros referidos, levou à obtenção de CM500, CM250, CM125 e CM75, que corresponde ao material de CPm75 passado através dos peneiros 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m e 75 μ m, respectivamente, conforme se indica na Figura 4.2 e no Gráfico 4.4.



FIGURA 4.2 – ASPECTO DA CINZA CM500, CM250, CM125 E CM75

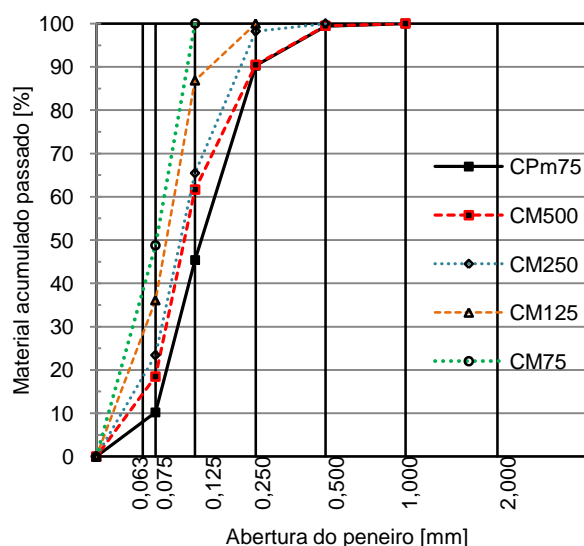


GRÁFICO 4.4 – CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE CPm75 CM500, CM250, CM125 E CM75

A Tabela 4.2, apresenta a caracterização das cinzas estudadas efectuada e laboratório exterior certificado, da SECIL. Esta caracterização incluiu análise química, a determinação da superfície específica e a avaliação da granulometria através de dois métodos: o método da peneiração e o método granulometria laser.

TABELA 4.2 – ESPECIFICAÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS POR TIPOLOGIA DE CINZA

Amostra	Análise Granulométrica	Análise Química e Mineralógica	Superfície Específica
Cinza de Casca de Arroz (C)	X	X	
Cinza de Casca de Arroz peneirada 500 µm (CP500)		X	
CM500	X		X
CM250	X		X
CM125	X		X
CM75	X		X

Da análise granulométrica da cinza de casca de arroz (C) pelo método de peneiração (lavagem e peneiração) realizada pelos laboratórios da SECIL, obteve-se a curva granulométrica apresentada no Gráfico 4.5. O Gráfico 4.6 apresenta a granulometria das cinzas CM75, CM125, CM250 e CM500 pelo método de avaliação por laser convertidas em percentagem cumulativa de material passado.

A análise da granulometria por recurso ao laser, realizada pelos laboratórios da SECIL, permite verificar que CM500 e CM250 apresentam curvas granulométricas muito semelhantes. Estes valores encontram-se em Anexo 2.

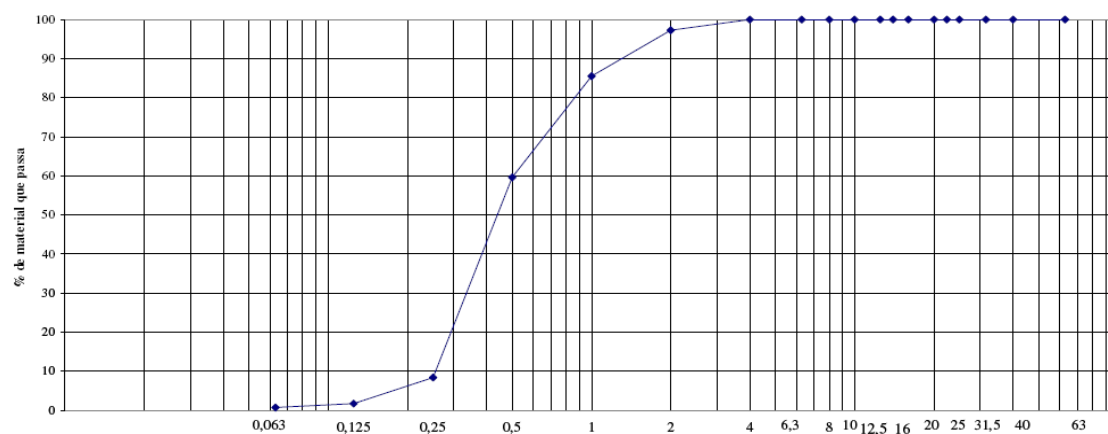


GRÁFICO 4.5 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA CINZA COMERCIAL (C) - MÉTODO DE PENEIRAÇÃO (LAVAGEM E PENEIRAÇÃO) (CDAC, 2010)

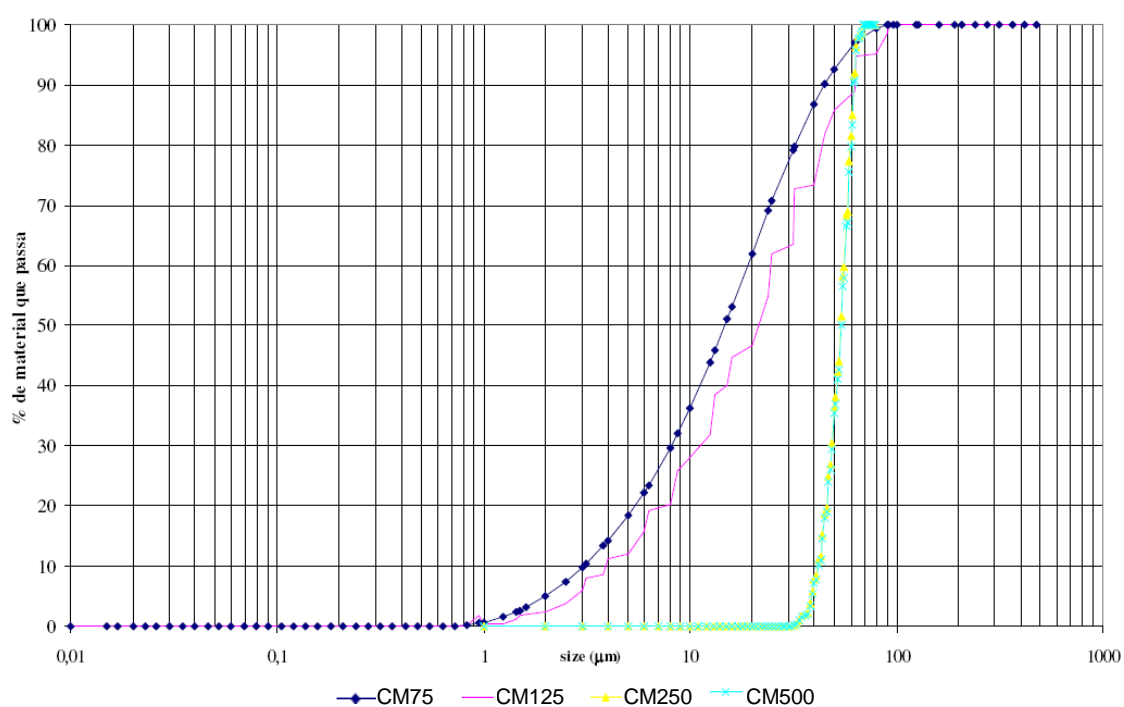


GRÁFICO 4.6 – GRANULOMETRIA DAS CINZAS CM75, CM125, CM250 E CM500 CONVERTIDAS EM % CUMULATIVA DE MATERIAL PASSADO (CDAC, 2010)

A superfície específica de CM500, CM250, CM125 e CM75 foi avaliada nos laboratórios da SECIL, pelo Método de Blaine – segundo NP EN 196-6, e os resultados são apresentados na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 – AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA PELO MÉTODO DE BLAINE

Amostra	Tempo (s)	Blaine (cm ² /g)
CM500	26,5	6010
CM250	29,91	6385
CM125	26,91	6056
CM75	36,75	7078

4.3. ARGAMASSAS ESTUDADAS NA FASE 1 E SUA CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO FRESCO

A Tabela 4.4 apresenta a razão água/mistura ligante utilizada em todas as argamassas estudadas, os valores de espalhamento, massa volúmica aparente, retenção de água e exsudação.

TABELA 4.4 – CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO FRESCO

Argamassa Designação	Água/mistura ligante* *(cal+ cinza)	Espalhamento [mm]	Retenção de água [%]	Massa volúmica ρ [kg/m ³]	Exsudação %
Cal	1,83	162	90	2080	2,0
A500	1,15	162	90	1870	1,5
A250	1,15	163	87,6	1840	1,3
A125	1,14	162	88,3	1890	2,1
A75	1,09	167	88,9	1890	-
P500	1,15	162	88,8	1890	2,0
P250	1,15	163	88,6	1930	1,9

O Gráfico 4.7 apresenta os valores da razão água/mistura ligante utilizados na formulação das argamassas e o Gráfico 4.8 representa estes valores em função da máxima dimensão da cinza, tendo-se considerado como máxima dimensão da cinza a abertura de malha do peneiro através do qual se procedeu ao fraccionamento de CPm75 para a obtenção de CM500, CM250, CM125 e CM75, respectivamente 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, e 75 μ m.

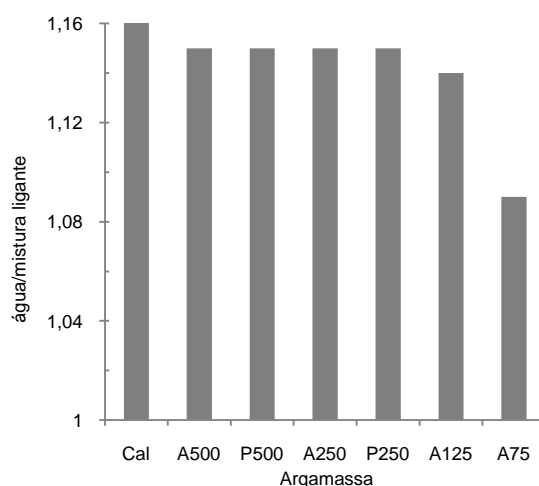


GRÁFICO 4.7 - RELAÇÃO ÁGUA/MISTURA LIGANTE PARA A OBTENÇÃO DE UM ESPALHAMENTO DE 165±5mm

A análise dos valores de espalhamento e das razões água/(mistura ligante) das argamassas formuladas com cinza com os correspondentes da argamassa de cal, verifica-se que a incorporação da cinza desencadeou uma redução da quantidade de água necessária para obter um espalhamento da ordem de 165mm, independentemente da sua granulometria. Nas argamassas formuladas com cinza de casca de arroz, a redução da dimensão da cinza,

nomeadamente abaixo de 250 μ m, levou à redução da quantidade de água necessária à obtenção da consistência desejada, Gráfico 4.8.

A relação entre a granulometria da cinza e a quantidade de água obtida está de acordo com o que outros autores obtiveram, quando adicionaram cinzas volantes e constataram que essa adição permitia, para uma mesma consistência por espalhamento, diminuir a quantidade de água utilizada na amassadura, ((SANTOS, 2009), (PINTO, et al., 2010), (LANGE, 1997)).

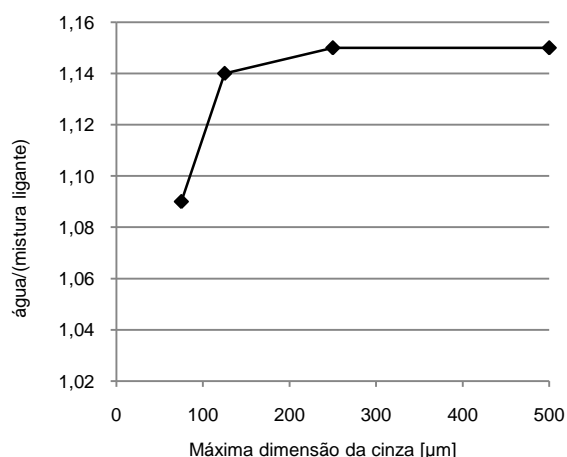


GRÁFICO 4.8 – INFLUÊNCIA DA MÁXIMA DIMENSÃO DA CINZA NA RELAÇÃO ÁGUA/(MISTURA LIGANTE) PARA A OBTENÇÃO DE CONSISTÊNCIA POR ESPALHAMENTO SEMELHANTE

Com exceção da argamassa A500, a presença de cinza foi responsável pela redução da capacidade de retenção de água da argamassa de cal, Gráfico 4.9. Os valores de retenção de água obtidos nas argamassas A250, A125 e A75 apontam a redução da capacidade de retenção de água das argamassas formulada com cinza com o incremento da finura da cinza, Gráfico 4.9.

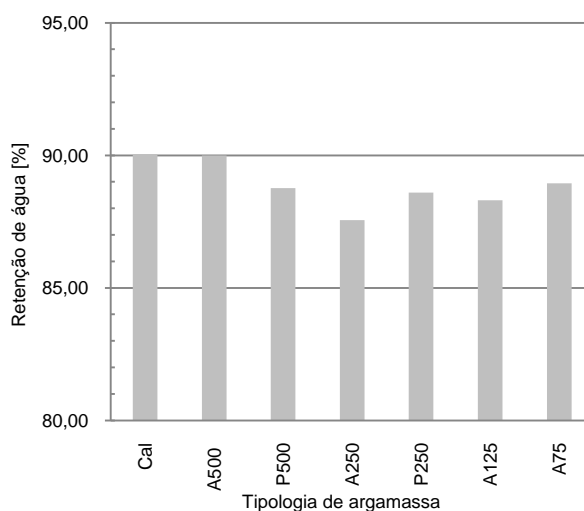


GRÁFICO 4.9 - RETENÇÃO DE ÁGUA

O incremento da finura da cinza foi acompanhado pelo aumento da massa volúmica das argamassas, facto que poderá ser justificado pela existência de menor volume de vazios, ocupado pelas partículas de cinza de menor dimensão e pela redução da relação água/mistura ligante, Tabela 4.5..

TABELA 4.5 - MASSA VOLÚMICA APARENTE DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS

	Argamassa						
	Cal	A500	A250	A125	A75	P500	P250
ρ (kg/m ³)	2080	1870	1890	1890	1930	1840	1890

Os resultados apresentados no Gráfico 4.10 apontam para a redução da exsudação com a diminuição da máxima dimensão da cinza de 500 μ m (A500, P500) para 250 μ m (A250, P250) e para a possibilidade de incremento da ocorrência de exsudação em argamassas formuladas com cinza cuja máxima dimensão seja menor ou igual a 125 μ m (A125).

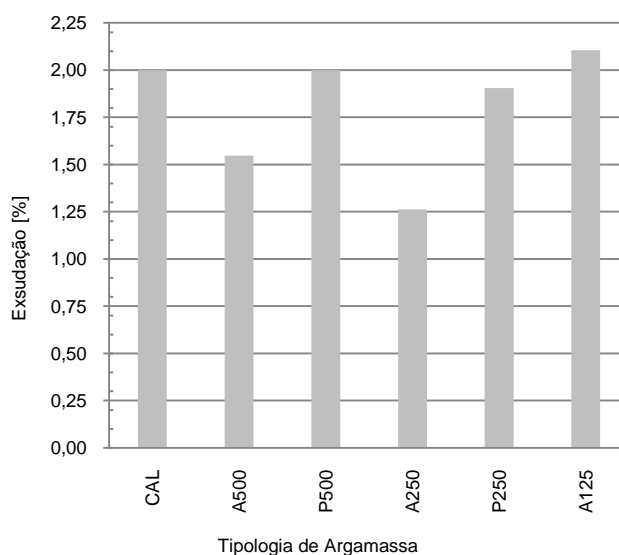


GRÁFICO 4.10 – AVALIAÇÃO DA EXSUDAÇÃO

4.4. AVALIAÇÃO DA REACTIVIDADE POZOLÂNICA DAS ARGAMASSAS DA FASE 1

A Tabela 4.6 apresenta a caracterização no estado endurecido das argamassas estudadas..

TABELA 4.6 – TABELA RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA FASE 1

Argamassa Designação	Relação água/ (mistura ligante)	Tensão de rotura à compressão [MPa]		Tensão de rotura à flexão [MPa]		Velocidade de ultra- sons [m/s] (28 dias)
		14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	
Cal	1,83	0,3	0,5	0,2	0,2	1500
A500	1,15	2,7	4,7	1	2,2	2640
P500	1,15	-	4,9	-	2,3	2590
A250	1,15	3,4	5,6	1,4	2,3	2680
P250	1,15	-	5,3	-	2,4	2550
A125	1,14	3,6	5,7	1,4	2,5	2700
A75	1,09	3,5	6,2	1,5	2,6	2600

A avaliação da influência da finura na reactividade da cinza de casca de arroz foi efectuada através da determinação da resistência à compressão e flexão das argamassas Cal, A500, P500, A250, P250, A125 e A75, aos 14 e 28 dias de idade. Previamente à avaliação da resistência, procedeu-se também à avaliação da velocidade de propagação de ultra-sons.

O Gráfico 4.11 e o Gráfico 4.12 apresentam os valores médios da tensão de rotura à flexão e compressão, aos 14 e 28 dias de idade, das argamassas estudadas. Estes valores evidenciam a reactividade da cinza e a influência da finura da cinza utilizada, dado que as argamassa com cinza revelaram resistência mecânica claramente superior à argamassa de cal e registou-se o incremento de resistência mecânica com o aumento da finura da cinza. A velocidade de ultra-sons revelou-se pouco sensível ao incremento da reactividade pozolânica manifestada pela cinza com o aumento da sua finura, A500, A250, A125 e A75, Gráfico 4.13.

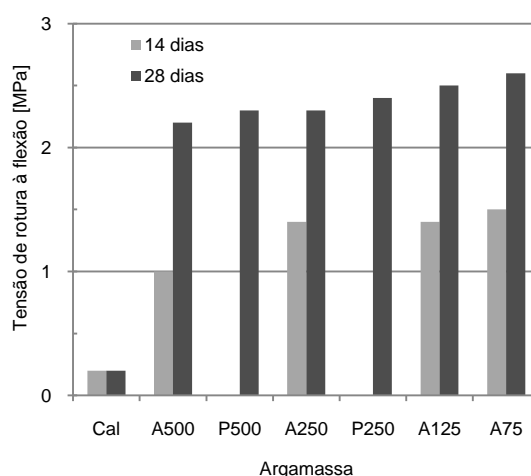


GRÁFICO 4.11 – TENSÃO DE ROTURA À FLEXÃO EM PROVETES NA FASE 1, AOS 14 E 28 DIAS

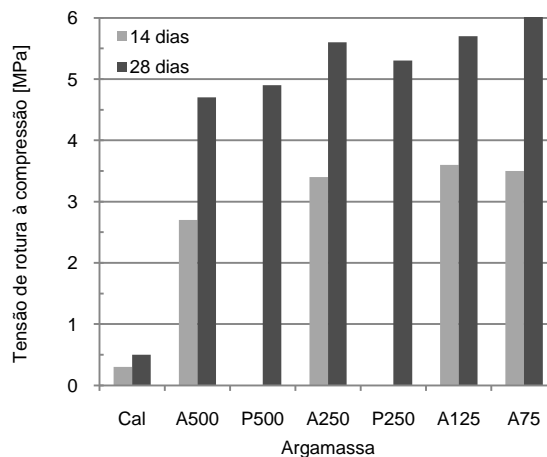


GRÁFICO 4.12 – TENSÃO DE ROTURA À COMPRESSÃO EM PROVETES AOS 14 E 28 DIAS

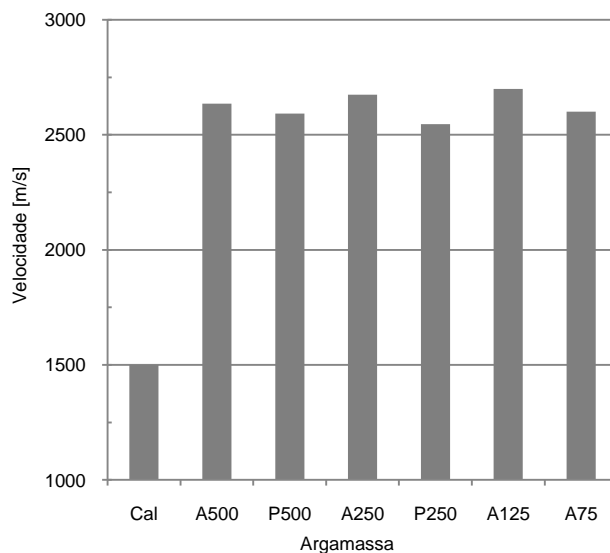


GRÁFICO 4.13 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE U.S. EM PROVETES PRISMÁTICOS, AOS 28 DIAS

O Gráfico 4.14 apresenta os valores médios de tensão de rotura à flexão e compressão aos 14 e 28 dias, das argamassas A500, A250, A125, A75, P500 e P250 em função da máxima dimensão da cinza.

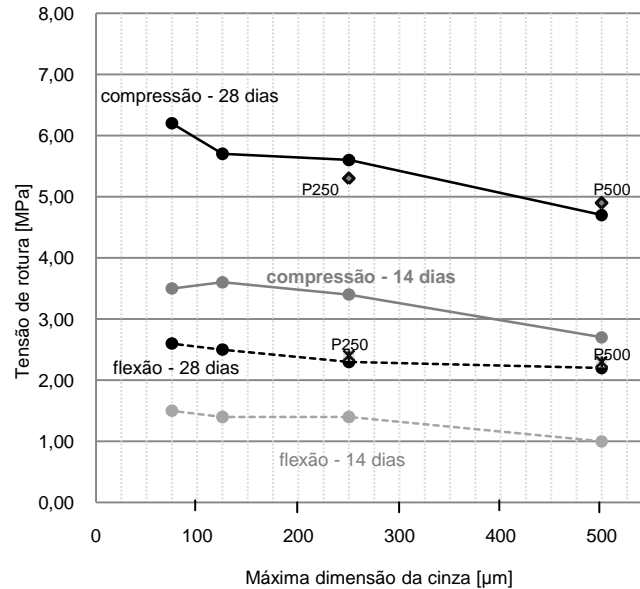


GRÁFICO 4.14 - INFLUÊNCIA DA MÁXIMA DIMENSÃO DA CINZA DE CASCA DE ARROZ NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E FLEXÃO (14 E 28 DIAS)

Tal como foi referido anteriormente, o conjunto de ensaios a realizar nesta fase da campanha experimental teve como objectivo avaliar a influência da granulometria da cinza na acção pozolânica e com base nos resultados obtidos seleccionar duas formulações de argamassa de cal com cinza de casaca de arroz a utilizar na Fase 2.

4.5. SELECÇÃO DAS ARGAMASSAS A ESTUDAR NA FASE 2

A selecção das argamassas a estudar na Fase 2 da campanha experimental teve como base o estudo da influência da finura da cinza de casca de arroz em argamassas de cal aérea.

A forma sob a qual é comercializada (C) apresentava-se heterogénea visualmente, isto é, era perceptível a existência de partículas de diferentes dimensões, sendo que as de maiores apresentavam uma tonalidade mais escura. Este facto foi justificado anteriormente pela possível má calcinação das mesmas, uma vez que o forno utilizado para a sua queima não possibilitava uma queima, oxigenação e temperaturas uniformes. Ora, como foi referido, as partículas mais claras seriam mais reactivas e por isso houve a necessidade de eliminar as partículas mal calcinadas por peneiração e tentar aumentar a potencial reactividade pozolânica da cinza através da redução da dimensão das suas partículas.

Deste estudo concluiu-se que o aumento da finura da cinza acarretava uma menor necessidade de água para a obtenção de uma consistência pré-definida.

Avaliadas as características mecânicas das diversas argamassas estudadas, verificou-se que os valores da tensão de rotura à flexão para as argamassas de cal com adição de cinza de casca de arroz eram superiores ao valor obtido para a argamassa de referência formulada unicamente com cal aérea, sendo este acréscimo da ordem de dez vezes.

A selecção das argamassas foi efectuada tendo como principal critério a sua reactividade avaliada através da resistência à compressão. Outro critério utilizado foi o tempo, energia e desperdício necessários para reduzir a dimensão das partículas da cinza, dado que este aspecto é determinante para o seu potencial uso na indústria da construção.

As argamassas A125 e A75, produzidas com as cinzas CM125 e CM75, revelaram reactividade ligeiramente superior às restantes. No entanto, as diferenças registadas não foram significativas. Note-se que a produção destas argamassas implica a utilização de cinza CM125 e CM75 que originam bastante desperdício para a sua obtenção.

Analisando então as restantes argamassas, nomeadamente as argamassas produzidas com as cinzas CP500 e CP250, (P500 e P250), com as equivalentes CM500 e CM250, (A500 e A250), verificou-se que, relativamente aos valores de tensão de rotura à compressão, os valores obtidos para as argamassas P500 e P250 eram semelhantes, pelo que deste grupo de 4 argamassas seleccionou-se as argamassas P500 e P250 para o desenvolvimento da Fase 2 do estudo.

A opção pelas argamassas P500 e P250 ficou a dever-se à semelhança de reactividade com as argamassas A500 e A250, respectivamente, e ao facto da preparação de CP500 e CP250 envolver menor tempo, energia e desperdício face ao necessário para a obtenção de CM500 e CM250.

5. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CURA - FASE 2

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A Fase 2 teve como objectivo avaliar a influência das condições de cura de argamassas de cal aérea com incorporação de cinza de casca de arroz, com diferentes granulometrias, em que a acção pozolânica se fez manifestar. Para tal foram utilizadas 3 argamassas: a argamassa de cal aérea tomada como argamassas de referência denominada de “Cal” (sem adição de CCA) e duas outras argamassas, a P500 (argamassa de cal formulada com a cinza CP500) e a P250 (argamassa de cal formulada com a cinza CP250).

A caracterização no estado endurecido na Fase 2 deste estudo foi efectuada com base no estudo de provetes prismáticos e de provetes em que as argamassas foram aplicadas como camadas de revestimento de tijolos cerâmicos, em ambos os casos aos 28 dias de idade das argamassas.

As condições de cura adoptadas no presente estudo são: seca (CS), húmida (CH) e em ambiente de laboratório (CA). A argamassa de cal aérea, utilizada como referência, foi conservada em ambiente seco (cura seca) até à sua caracterização aos 28 dias de idade (Tabela 5.1).

TABELA 5.1 – FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS NA FASE 2

Argamassa Designação	Traço Ponderal				Razão Água/mistura ligante* *(cal ou cal+cinza)
	Cal	CP500	CP250	Areia de rio	
Cal	1	-	-	8	1,83
P500	1	2	-	8	1,15
P250	1		2	8	1,15

5.2. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CURA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ARGAMASSAS

5.2.1. AVALIADA EM PROVETES PRISMÁTICOS

Os Gráficos 5.1 e 5.2 apresentam as curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas estudadas e traduzem a quantidade de água que é absorvida pelos provetes ao longo do tempo. Estes gráficos apresentam inclinações diferentes e bem definidas, que resultam da diferença de velocidade de absorção ao longo do ensaio. Numa fase inicial apresentam um declive mais acentuado que traduz uma velocidade superior de absorção nos primeiros momentos do ensaio. Com o decorrer do tempo essa rápida velocidade inicial diminui e a tendência dessas curvas é para estabilizarem até à saturação. Esta diferença de inclinações é

justificada pelo facto da água numa fase inicial preencher os poros de maiores dimensões e em seguida é que preenche os de menores dimensões, onde se verifica uma absorção capilar mais lenta.

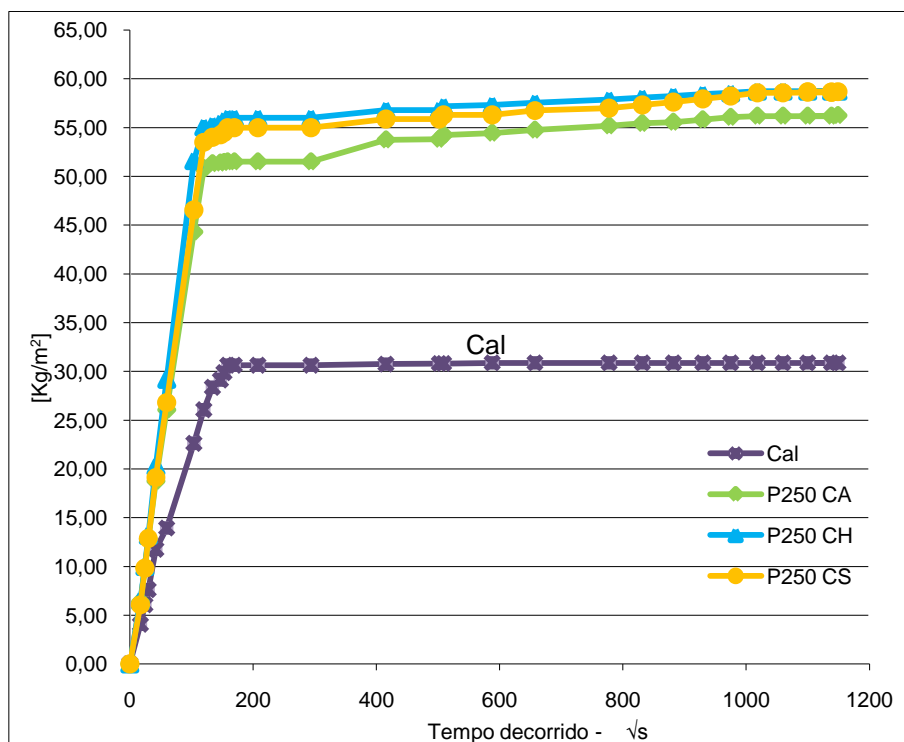


GRÁFICO 5.1 – ARGAMASSA P250 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

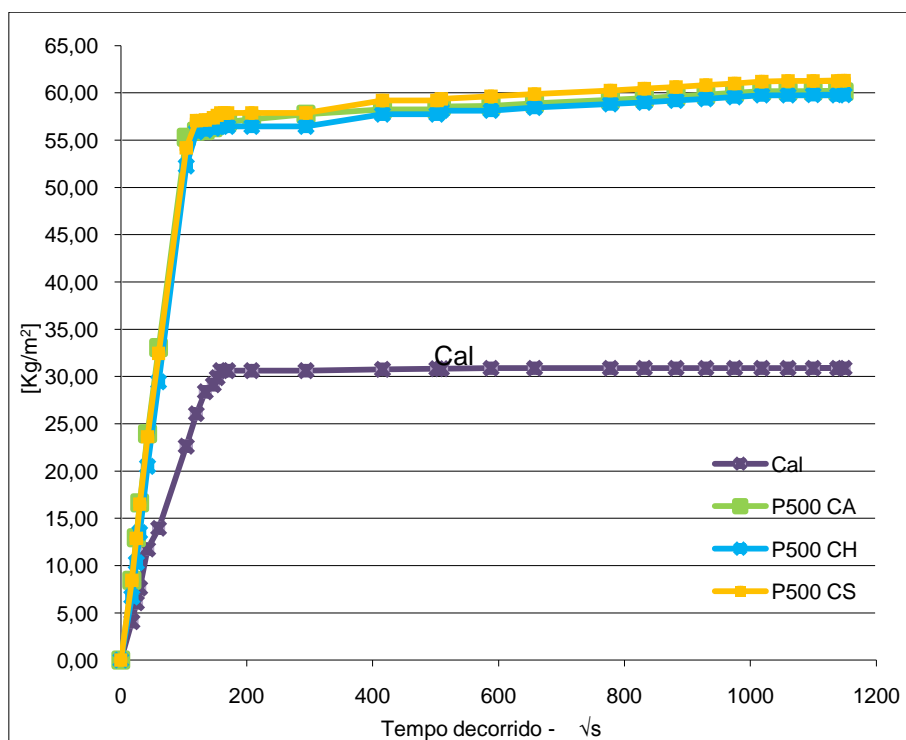


GRÁFICO 5.2 - ARGAMASSA P500 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A observação das curvas correspondentes ao período total de ensaio presente no Gráfico 5.1 e Gráfico 5.2, permite identificar a existência de 3 troços com velocidades de absorção diferentes.

Numa primeira fase esse troço traduz uma velocidade de absorção superior que ocorre nas primeiras horas. É com este primeiro tramo que se obtém o coeficiente de capilaridade.

A segunda fase corresponde a uma fase de transição entre a fase inicial e a fase final de estabilização.

A terceira e última fase corresponde à fase de estabilização, caracteriza-se por uma velocidade lenta de absorção, isso deve-se ao facto dos provetes nessa fase estarem próximos da saturação. É nesta fase e com a estabilização que se obtém o valor assintótico.

As fases aqui identificadas, são também referidas por (RATO, 2006) e (ALMEIDA, 2008) nos seus trabalhos.

Verifica-se ainda, que os provetes de argamassa com adição de cinza com maior granulometria (P500) possuem maior capacidade para absorver água que os provetes de argamassa com adição de cinza cuja granulometria é mais fina (P250). Em termos da influência do meio de cura podemos verificar que os provetes que foram submetidos a cura seca e a cura ambiente possuem uma maior capacidade de absorver água. Note-se porém, que as diferenças registadas não foram muito significativas, em termos de influência das condições de cura.

Analisando os dois gráficos e comparando as formulações e condições de cura verifica-se que a argamassa de cal se distingue das restantes apresentando valores de coeficiente de absorção e assintótico significativamente inferiores. Isto reflecte uma maior compacidade ou seja menos poros, que leva a uma menor capacidade para absorver água e velocidades de absorção menores que se reflectem em curvas com menor declive.

A **determinação da porosidade aberta** (Gráfico 5.3) e da massa volúmica têm como objectivos avaliar a influência que os constituintes das argamassas apresentam no estado endurecido e deste modo perceber a influência da reacção pozolânica nestas características.

De uma forma geral, observando os Gráfico 5.3, pode afirmar-se que comparativamente à argamassa de referência de cal, qualquer que seja a condição de cura e granulometria, os provetes em que entra na formulação CP500 e CP250 apresentam valores de porosidade aberta superiores.

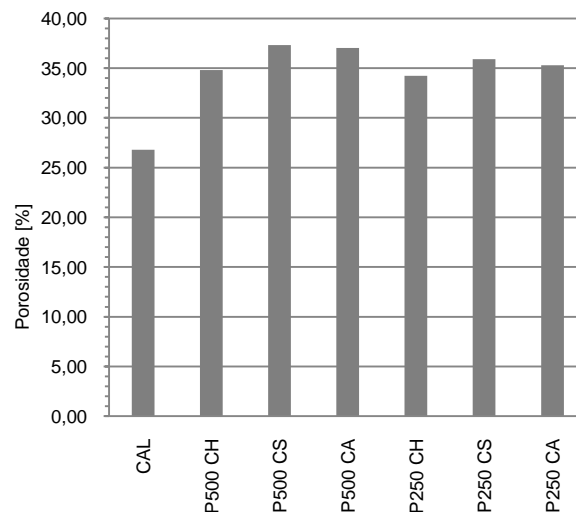


GRÁFICO 5.3 – POROSIDADE ABERTA

Observando as argamassas com adição de CP, as que foram submetidas a cura húmida, nas duas granulometrias estudadas (P500CH e P250CH), apresentam valores inferiores às de cura seca (P500CS e P250CS) e ambiente (P500CA e P250CA) o que poderá dever-se ao facto de se tratar de uma argamassa mais compacta. Estes resultados poderão ficar a dever-se ao facto de em cura seca e ambiente a perda por evaporação de água se dar de forma mais célere que em cura húmida.

No caso da cura húmida a perda de água por evaporação não ocorre da mesma forma nem com a mesma rapidez. Assim, parte da água da amassadura concorre para a reacção pozolânica entre a sílica e alumina presentes na cinza de casca de arroz e o hidróxido de cálcio da cal aérea, para a formação de compostos hidráulicos. Quando este processo de perda de água por evaporação, que origina a existência de poros, se dá além de ser em quantidade muito inferior à que evapora nas restantes curas, dá-se numa altura em que já estão garantidas condições de resistência mecânicas suficientes o que faz com que os poros permaneçam com o volume igual ao que a água de amassadura ocupava.

A maior porosidade em provetes prismáticos submetidos a cura seca e ambiente poderá estar relacionada com a menor quantidade de água que chega a participar na reacção pozolânica uma vez o tempo que leva a que se dê a evaporação é inferior ao que leva para que se dê a reacção pozolânica. Assim há uma maior quantidade de água a evaporar e por isso maior percentagem de poros. Os resultados de porosidade são consistentes com a determinação das massas volúmicas real e aparente representadas no Gráfico 5.4, Gráfico 5.5, Tabela 5.2 e Tabela 5.3.

Muito embora a cura húmida tenha originado valores de porosidade inferiores (34%-35%) aos obtidos com as restantes curas estudadas (35%-37%), em ambas as argamassas (P250, P500), Tabelas 5.2 e 5.3, tal não se refletiu de modo significativo na capacidade de absorção de água por capilaridade, Gráficos 5.1 e 5.2.

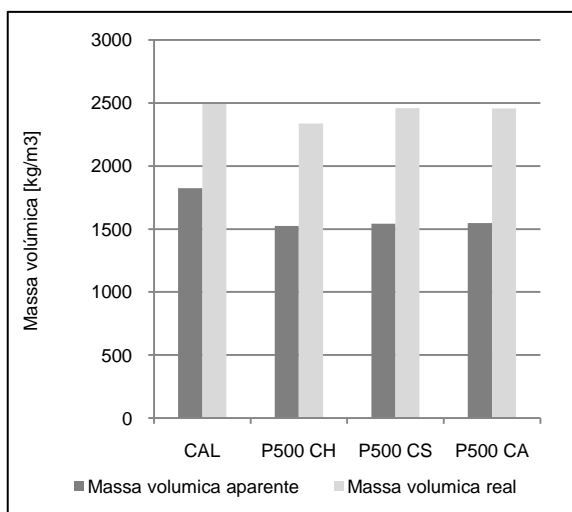


GRÁFICO 5.4 – MASSA VOLÚMICA REAL E APARENTE (ARGAMASSAS P500)

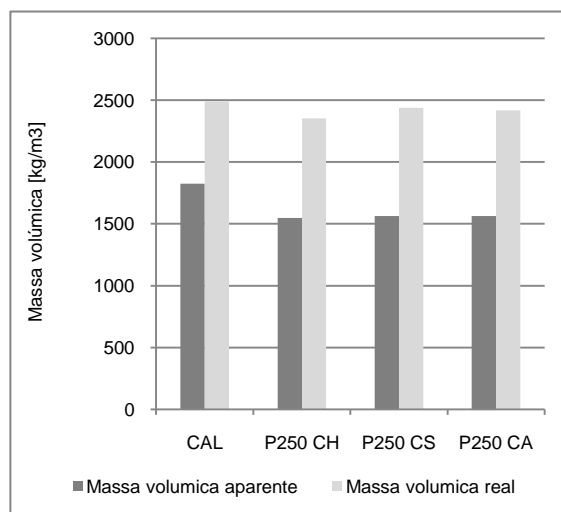


GRÁFICO 5.5 - MASSA VOLÚMICA REAL E APARENTE (ARGAMASSAS P250)

TABELA 5.2 – VALORES DE POROSIDADE E MASSA VOLÚMICA DE P500

	Porosidade [%]	Massa volúmica aparente [kg/m³]	Massa volúmica real [kg/m³]
CAL	26,8	1820	2490
P500 CH	34,8	1520	2340
P500 CS	37,3	1540	2460
P500 CA	37,0	1550	2460

TABELA 5.3 - VALORES DE POROSIDADE E MASSA VOLÚMICA DE P250

	Porosidade [%]	Massa volúmica aparente [kg/m³]	Massa volúmica real [kg/m³]
CAL	26,8	1820	2490
P250 CH	34,3	1550	2350
P250 CS	35,9	1560	2440
P250 CA	35,3	1560	2420

O ensaio de determinação da secagem após imersão em água permite avaliar a capacidade de eliminação de água por evaporação de uma argamassa, estando sujeita a um ambiente controlado. Neste ensaio os meios provetes foram condicionados a um ambiente de temperatura $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa igual a $50\% \pm 5\%$.

Os Gráficos 5.6 e 5.7 apresentam as curvas de secagem das argamassas estudadas na Fase 2. A análise destes gráficos permite verificar a influência significativa que a presença de cinza de casca de arroz introduziu na cinética de secagem da argamassa de cal aérea (Cal). A adição pozolânica foi responsável pela redução da facilidade de secagem da argamassa de cal aérea.

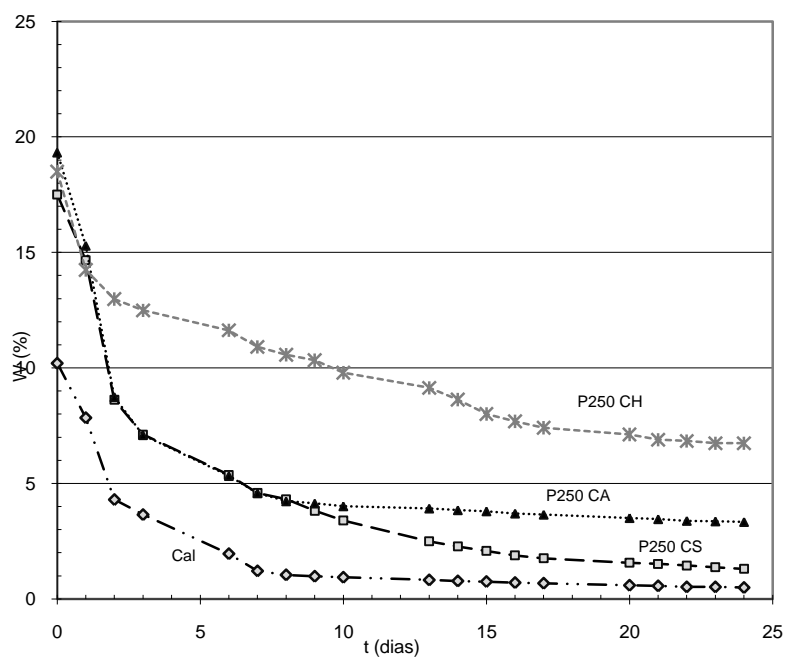


GRÁFICO 5.6 – ENSAIO DE SECAGEM P250

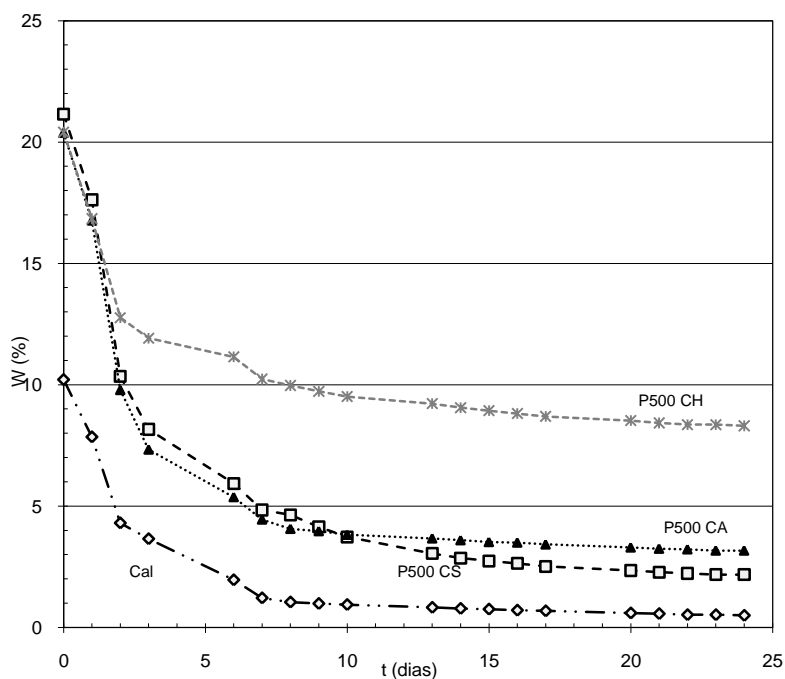


GRÁFICO 5.7 - ENSAIO DE SECAGEM P500

As condições de cura manifestaram uma influência relevante na cinética de secagem das argamassas formuladas com cinza de casca de arroz. A análise dos Gráficos 5.6 e 5.7 permite verificar que a cura húmida foi responsável pela redução significativa da capacidade de secagem de ambas as argamassas formuladas com cinza (P250 e P500).

5.2.2. AVALIADA NAS ARGAMASSAS APLICADAS COMO CAMADAS DE REVESTIMENTO DE TIJOLOS

A Tabela 5.4 apresenta a quantidade de água absorvida ao fim de 30s, 2 min, 3 min, e 5 min avaliada com recurso ao ensaio de absorção de água sob baixa pressão para todas as argamassas estudadas, bem como o tempo ao fim do qual se registou a absorção de 4 cm³ de água.

TABELA 5.4 – QUANTIDADE DE ÁGUA ABSORVIDA (MÉTODO DO CACHIMBO)

	Quantidade de água absorvida [cm ³]						
	Cal	P250			P500		
		CH	CA	CS	CH	CA	CS
30 s	3,98	0,30	0,93	1,03	0,13	1,03	1,33
2 min	-	0,45	2,72	3,15	0,35	2,70	3,43
3 min	-	0,53	3,48	3,57	0,40	3,73	3,57
5 min	-	0,70	-	-	0,50	-	-
Tempo ao fim do qual se registou a absorção de 4 cm ³ de água [s/min]	40 s	291,67 min	4 min	4,42 min	350 min	3,5 min	4,88 min

Os gráficos 5.9 e 5.10 apresentam a quantidade de água absorvida ao longo do tempo necessário para a absorção da totalidade de água do cachimbo (4cm³).

A análise da Tabela 5.4 e dos Gráficos 5.9 e 5.10 permite verificar que as argamassas formuladas com cinza de casca de arroz revelaram menor capacidade de absorção de água do que a argamassa de cal e que as condições de cura podem apresentar uma influência significativa na capacidade de absorção de água das argamassas de cal formuladas com cinza de casca de arroz. As características de absorção avaliadas não foram muito sensíveis à granulometria da cinza, dado que as argamassas P250 e P500 revelaram capacidade de absorção semelhante quando considerada a mesma condição de cura.

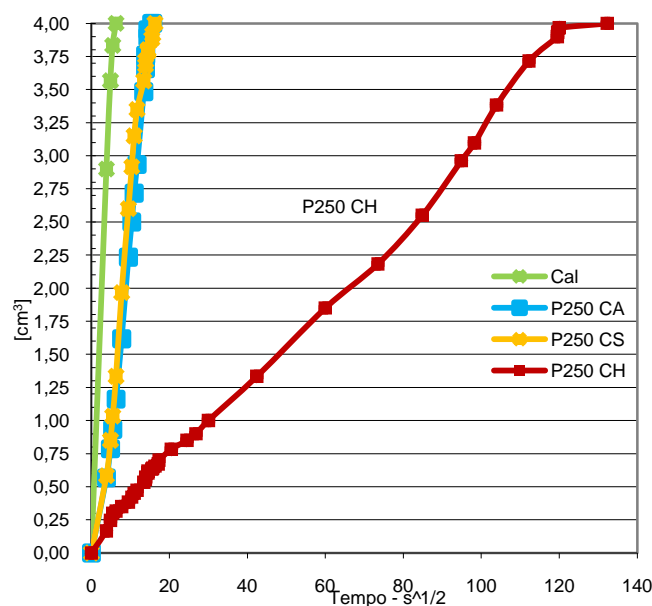


GRÁFICO 5.8 – ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE TIJOLOS DE CAL E TIPO P250 – MÉTODO DOS CACHIMBOS

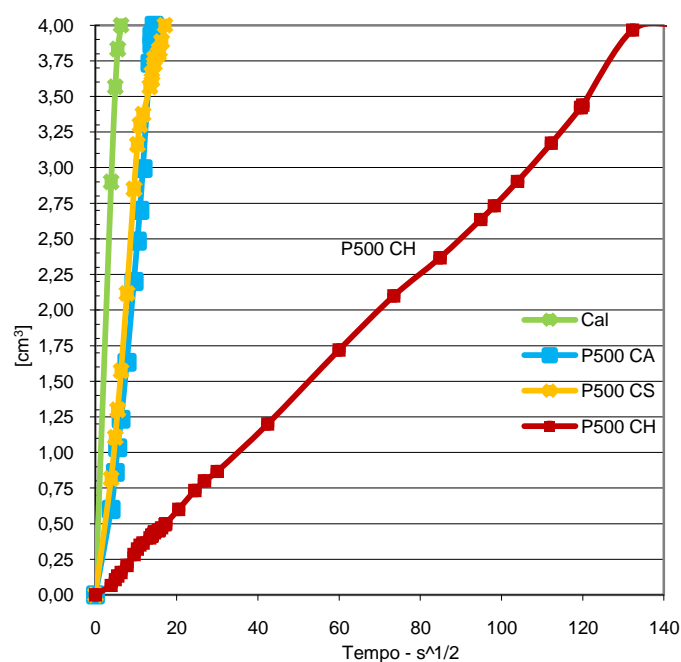


GRÁFICO 5.9 - ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE TIJOLOS DE CAL E TIPO P500 – MÉTODO DOS CACHIMBOS

A cura húmida foi responsável pela redução significativa da capacidade de absorção de água das argamassas P250 e P500 tendo-se obtido cinéticas de absorção praticamente idênticas quando estas argamassas foram submetidas a cura ambiente (CA) e a cura seca (CS).

5.3. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CURA NAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS

5.3.1. AVALIADA EM PROVETES PRISMÁTICOS

A Tabela 5.4 e os Gráficos 5.11 e 5.12 apresentam valores médios da tensão de rotura à compressão, da tensão de rotura à flexão, da velocidade de propagação de ultra-sons e da espessura carbonatada, avaliadas aos 28 dias de idade das argamassas, submetidas às condições de cura estudadas.

TABELA 5.5 – CARATERIZAÇÃO MECÂNICA E ESPESSURA CARBONATADA (28 DIAS)

Argamassa Designação	Razão Água/(mistura ligante)	Tensão de rotura à compressão [MPa]	Tensão de rotura à flexão [MPa]	Velocidade de ultra-sons [m/s]	Espessura carbonatada [mm]
Cal	1,83	0,5	0,2	1500	5
P500 CH	1,15	4,9	2,3	2590	-
P500 CS	1,15	4,0	2,0	870	13
P500 CA	1,15	3,5	2,0	880	13
P250 CH	1,14	5,3	2,4	2550	-
P250 CS	1,14	4,1	2,1	900	12
P250 CA	1,14	3,6	2,1	1010	12

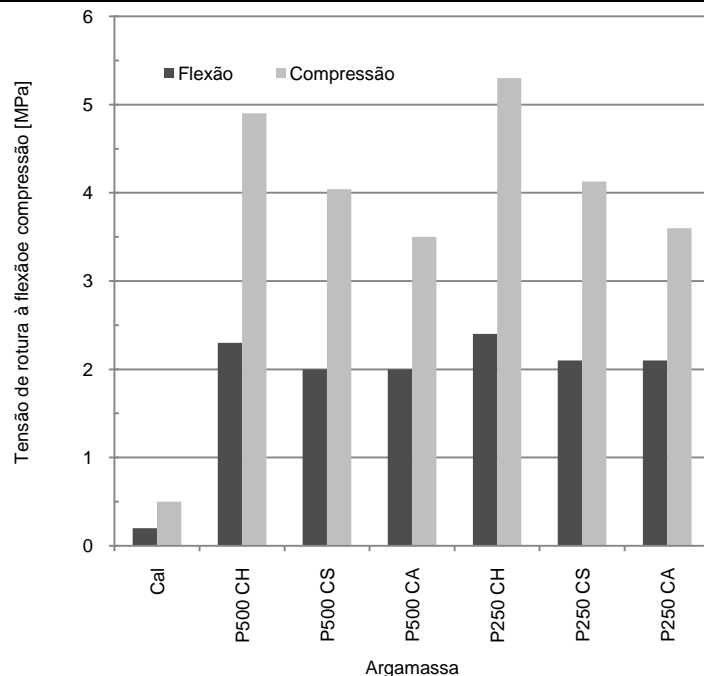


GRÁFICO 5.10 - TENSÃO DE ROTURA À COMPRESSÃO E FLEXÃO EM PROVETES PRISMÁTICOS AOS 28 DIAS PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES DE CURA ESTUDADAS

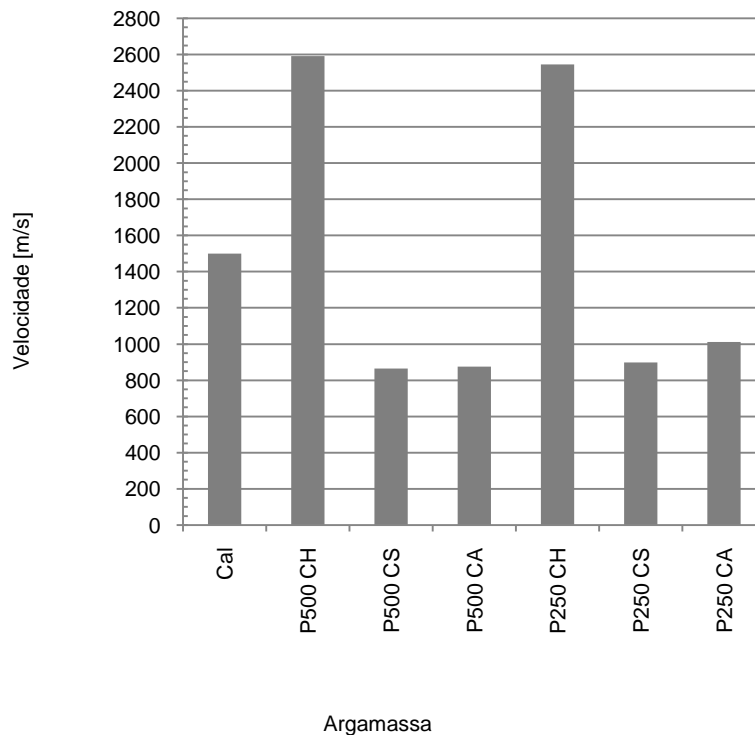


GRÁFICO 5.11 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ULTRA-SONS

Os valores da tensão de rotura à compressão e à flexão das argamassas P250 e P500 refletem uma ligeira maior reactividade da cinza de casca de arroz com granulometria mais fina (P250), Tabela 5.4 e Gráfico 5.11. A velocidade de propagação de ultra-sons revelou reduzida sensibilidade à diferença de reactividade identificada através dos ensaios de caracterização mecânica, Tabela 5.4 e Gráfico 5.12.

Os valores da espessura carbonatada obtidos nas argamassas formuladas com cinza de casca de arroz são semelhantes entre si e claramente superiores aos obtidos na argamassa de cal aérea, Tabela 5.4. Os maiores valores de espessura carbonatada registados nas argamassas P250 e P500 ficam a dever-se ao facto de se registar menor presença de hidróxido de cálcio, devido ao desenvolvimento de reacções pozolânicas nestas argamassas.

A análise do Gráfico 5.11 permite verificar a influência as condições de cura revelou nas características das argamassas formuladas com cinza de casca de arroz, bem como concluir que a cura húmida foi responsável pelos maiores valores de resistência mecânica em ambas as argamassas estudadas (P250 e P500). Os resultados obtidos permitem também concluir que a tensão de rotura à compressão revelou maior capacidade em distinguir a influência das condições de cura do que a tensão de rotura à flexão e a velocidade de propagação de ultra-sons. A análise dos valores de tensão de rotura à compressão das argamassas P250 e P500 apontam para que a argamassa P250 tenha sido mais sensível às condições de cura,

possivelmente devido à ligeira maior reactividade manifestada com a utilização da cinza de casca de arroz mais fina.

O Gráfico 5.11 permite verificar que os valores da tensão de rotura à flexão de ambas as argamassas (P250 e P500) submetidas a cura seca e cura ambiente, são muito semelhantes. Este facto poderá ter como origem a semelhança nas condições associadas à cura seca e à cura ambiente dado que o ambiente de laboratório em que decorreu a cura ambiente caracterizou-se por temperaturas elevadas (da ordem dos 30º a 35º) atendendo ao período do ano em que esta fase do trabalho foi realizado (Verão). Já os provetes que foram submetidos a cura húmida, registam valores de resistência à flexão superiores aos valores das restantes curas.

A argamassa formulada com cinza de granulometria inferior (P250) revelou tendência para manifestar maior sensibilidade às condições de cura do que a argamassa P500.

Os resultados obtidos evidenciam que teores de humidade mais elevados são favoráveis ao desenvolvimento das reacções pozolânicas. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por (SOUSA COUTINHO, 1958) que estudou argamassas de cal aérea com adição de pozolanas de St.º Antão com diferentes condições de cura, mantendo os provetes dentro de água até datas diferentes: uns até aos 28 dias e outros até aos 90 dias. Com este estudo percebeu que quanto menor o tempo dentro de água menor as resistências obtidas. Segundo Sousa Coutinho a perda rápida inicial de água impede que a reacção pozolânica se complete, uma vez que se trata de uma reacção lenta e a evaporação é um processo relativamente rápido. A rápida evaporação numa fase inicial de desenvolvimento das reacções pozolânicas provoca constantes alterações interiores e por isso não potencia as propriedades aglomerantes e consequentemente as características de resistência. Por analogia às condições de cura estudadas neste trabalho percebe-se que também se poderá justificar a menor resistência de provetes em cura seca e ambiente pela ocorrência de uma falta prematura de água para promover a reacção pozolânica.

Os valores da velocidade de ultra-sons apontam para que a utilização da cinza mais fina tenha originado maiores valores de velocidade, quando comparados com os registados na argamassa (P500) submetida às mesmas condições de cura. Estes resultados estão de acordo com o estudado por (ALVES, et al., 2010) em que o autor verificou que o ensaio de ultra-sons é afectado consoante a cura, verificando-se maior diferença para a cura húmida.

Os reduzidos valores de velocidade obtidos para ambas as argamassas submetidas a cura seca e ambiente têm como causa provável a presença de fissuração.

5.3.2. AVALIADA NAS ARGAMASSAS APLICADAS COMO CAMADAS DE REVESTIMENTO DE TIJOLOS

A Tabela 5.6 apresenta os valores da velocidade de ultra-sons das argamassas aplicadas como camadas de revestimento de tijolos.

TABELA 5.6 – VELOCIDADE DE ULTRA-SONS

CAL	Velocidade de ultra-sons (m/s)					
	P250			P500		
	CA	CS	CH	CA	CS	CH
≈2220	≈ 1000	≈ 1420	≈ 2500	≈ 1830	≈ 1300	≈ 2250

A velocidade de propagação de ultra-sons revelou-se sensível à maior reactividade da cinza mais fina e à influência das condições de cura nas argamassas formuladas com cinza de casca de arroz. A argamassa condicionada sob cura húmida revelaram valores de velocidade de propagação de ultra-sons claramente superiores às restantes. Os reduzidos valores de velocidade obtidos em ambas as argamassas submetidas a cura seca e ambiente ficaram a dever-se à significativa fissuração registada.

A avaliação da dureza superficial através do esclerómetro pendular é um ensaio sensível às condições em que é realizado, nomeadamente às possíveis irregularidades existentes na camada de argamassa que condicionam o modo como o aparelho apoia na referida camada, e à eventual presença de fissuração importante.

De referir que argamassas menos resistentes originam valores de ressalto mais baixos.

De uma forma geral os valores de ressalto registados na argamassa P500 são superiores aos obtidos na argamassa P250 (Tabela 5.7). Com excepção dos resultados relativos à cura húmida, em que a argamassa P250 apresenta valores de ressalto superiores quando comparados com os obtidos em P500.

TABELA 5.7 – DUREZA SUPERFICIAL DAS ARGAMASSAS

Ressalto médio	Dureza superficial da argamassa - Ensaio de Esclerómetro						
	Cura Ambiente		Cura Seca			Cura Húmida	
	P250 CA	P500 CA	P250 CS	P500 CS	Cal	P250 CH	P500 CH
Fila de Cima	25	37	27	45	30	62	56
Fila de Baixo	20	33	27	34	20	64	49

De um modo geral, o valor médio do ressalto associado às determinações realizadas na fila de cima são superiores aos da fila de baixo, inclusivamente na argamassa de referência de cal aérea, Figura 5.1. Este facto poderá justificar-se por se ter iniciado o ensaio pela fila de cima e os sucessivos impactos terem afectado as características da camada de argamassa. Há no

entanto o caso da argamassa P250 em cura seca que apresenta o mesmo valor médio de ressalto nas determinações efectuadas na fila de cima e na de baixo, Tabela 5.5.

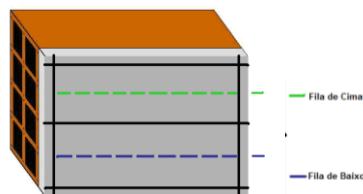


FIGURA 5.1 – ESQUEMA DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL

Em termos quantitativos constata-se que os valores de ressalto registados para as argamassas em cura húmida apresentam valores médios bastante superiores em relação às restantes curas e à argamassa de referência.

5.4. OUTRAS CARACTERÍSTICAS

5.4.1. ESPESSURA CARBONATADA

Tal como já foi referido no capítulo anterior, a avaliação da espessura carbonatada permite controlar e avaliar o processo de carbonatação de uma argamassa à data do ensaio.

A espessura carbonatada permite avaliar a velocidade de carbonatação. Esta reacção ocorre simultaneamente à reacção pozolânica e ambas competem pelo hidróxido de cálcio. Assim, as condições de cura e por isso termo-higrométricas têm extrema influência no desenvolvimento da espessura carbonatada. O recurso à solução de fenolftaleína permitiu avaliar a espessura carbonatada tanto em cura seca como em cura ambiente. A sua utilização em provetes submetidos a cura húmida não identificou a presença de espessura carbonatada dado que a presença de humidade fomenta a reacção pozolânica e atrasa o avançar da carbonatação. As argamassa com cinza de casca de arroz (P500 e P250) sujeitas a cura seca (CS) e ambiente (CA) revelaram um valor de espessura carbonatada claramente superior à registada na argamassa de cal aérea, como se pode observar pelo Gráfico 5.12.

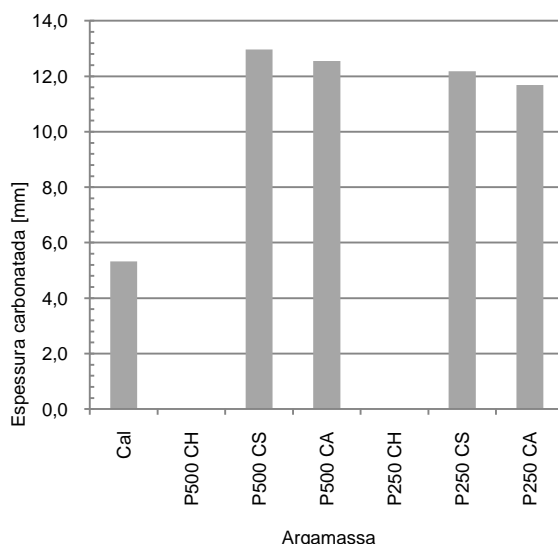


GRÁFICO 5.12 – ESPESSURA CARBONATADA

À semelhança dos resultados obtidos em provetes prismáticos, os valores de espessura carbonatada registados em P250 e P500 são semelhantes entre si e claramente superiores aos da argamassa de cal aérea.

Os maiores valores de espessura carbonatada registados nas argamassas com cinza têm como justificação o consumo de hidróxido de cálcio no âmbito das reacções pozolânicas. Note-se também que os menores valores de espessura carbonatada de P250 podem ter como justificação a maior reactividade de P250, associada à maior finura da cinza.

5.4.2. RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À FENDILHAÇÃO E FISSURAÇÃO

As argamassas de cal aérea e as formuladas com cinza (P250 e P500) submetidas a cura húmida não registaram fissuração e mantiveram-se aderentes ao suporte.

As argamassas P250 e P500 desenvolveram fissuração quando submetidas a cura ambiente e cura seca. O desenvolvimento da fissuração teve início logo após a primeira hora que se seguiu à aplicação das argamassas nos tijolos e estabilizou ao fim de uma semana, não se tendo registado qualquer evolução da fissuração após este período.

Apesar de terem sido tomadas as medidas possíveis com o objectivo de minimizar a influência da fissuração na caracterização das argamassas, a sua presença necessariamente terá condicionado algumas das propriedades avaliadas, nomeadamente a absorção de água e a velocidade de propagação de ultra-sons.

A Tabela 5.8 apresenta os valores da abertura das fissuras avaliadas ao longo do comprimento das fissuras que ocorreram nas argamassas P250 e P500 aplicadas como camadas de revestimento, submetidas a cura ambiente e cura seca.

TABELA 5.8 – VALORES DA FISSURAÇÃO NAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO DOS TIJOLOS

Fissuras / larguras registradas (mm)		FISSURAS NOS PROJETES - CONDIÇÕES DE CURA							
		Cura Ambiente			Cura Seca				
		P500	P250	P250	P500	P500	P500	P250	P250
F1	a	0,03	0,04	0,03	0,07	0,06	0,02	0,08	0,02
	b	0,02	0,02	0,04	0,05	0,09	0,04	0,09	0,05
	c	0,05	0,02	0,03	0,03	0,06	0,02	0,05	0,01
Valor médio		0,03	0,03	0,03	0,05	0,07	0,03	0,08	0,02
F2	a	0,03	0,03		0,06		0,07		0,09
	b	0,04	0,05		0,05		0,11		0,14
	c	0,04	0,04		0,02		0,05		0,23
Valor médio		0,04	0,04		0,04		0,08		0,16
F3	a		0,02						0,1
	b		0,03						0,08
	c		0,02						0,07
Valor médio			0,02						0,09
F4	a		0,1						0,03
	b		0,1						0,01
	c		0,12						0,01
Valor médio			0,11						0,02
MÉDIA		0,04	0,05		0,05			0,07	
DESVIO PADRÃO		0,01	0,03		0,03			0,05	

As figuras que se seguem (Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4) apresentam a fissuração registrada nas argamassas P250 e P500 aplicadas como camadas de revestimento de tijolos, quando submetidas a cura seca e cura ambiente.



FIGURA 5.2 – ARGAMASSA P500 CA E P250 CA – CURA AMBIENTE – FISSURAÇÃO



FIGURA 5.3 - ARGAMASSA P250 CS – CURA SECA – FISSURAÇÃO

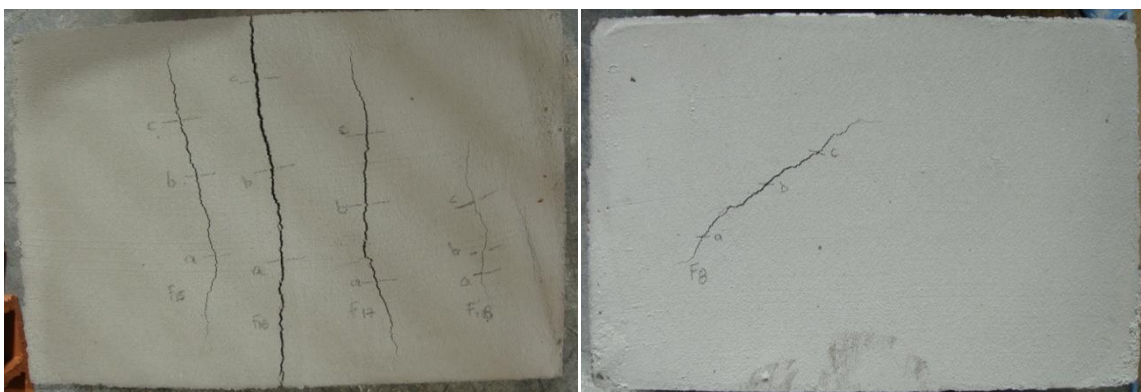


FIGURA 5.4 – ARGAMASSA P250 CS – CURA SECA – FISSURAÇÃO

A análise da Tabela 5.8 aponta para que a cura seca tenha favorecido o desenvolvimento de mais fissuração do que a cura ambiente, e que a maior reactividade da cinza mais fina tenha sido responsável pela ocorrência de mais fissuração na argamassa P250 do que a identificada na argamassa P500.

6. CONCLUSÕES

A cinza de casca de arroz utilizada para efectuar este estudo apresentava visualmente uma heterogeneidade na sua cor e dimensão de partículas, verificando-se que as partículas com maiores dimensões tinham uma tonalidade mais escura. Este facto poderá ficar a dever-se à má calcinação a que a casca de arroz foi sujeita no seu processo de transformação até cinza. Consultada bibliografia adequada ao tema mostrou-se que esta diferença de tonalidade poderia indicar a presença de partículas ricas em sílica e outras ricas em carbono. Pela análise química das amostras de cinza comercial e cinza peneirada passada no peneiro com abertura 500 μm é notório o incremento da percentagem de sílica. Assim se justifica a necessidade de se efectuar a peneiração de forma a minorar as partículas mal calcinadas, ou seja, as de maiores dimensões.

A preparação da cinza comercial de casca de arroz revelou-se determinante para o desenvolvimento da reacção pozolânica e para a potencial utilização deste material como adição pozolânica.

Verificou-se durante as várias fases deste estudo que o aumento da finura da cinza utilizada nas argamassas tinha como consequência uma redução da quantidade de água utilizada para a amassadura das mesmas para que se atingisse uma consistência pré-definida. Por verificação visual e por medição da quantidade de água exsudada concluiu-se que a água utilizada foi, ainda assim, superior à necessária para a amassadura. Estes resultados podem ser indicativos de que a finura da cinza é responsável pela quantidade de água retida nas argamassas, sendo tanto maior quanto menor for o grau de finura.

Durante o processo de amassadura das argamassas formuladas com cinza de casca de arroz verificou-se que com o decorrer do tempo as argamassas manifestavam maior fluidez, podendo-se afirmar que caso o tempo de amassadura fosse superior conseguir-se-ia, para a mesma consistência definida, diminuir a quantidade de água utilizada. Este factor foi também constatado por (FARIA RODRIGUES, 2004) que refere que *“em argamassas de cal aérea a trabalhabilidade depende, em grande parte, de uma amassadura energética, vigorosa e prolongada. As argamassas de cal aérea devem ser amassadas previamente (de modo à cal maturar juntamente com a areia) e serem apenas remexidas imediatamente antes de serem utilizadas.”*

Do estudo realizado conclui-se que o incremento da finura da cinza foi responsável pelo aumento da reactividade da cinza de casca de arroz estudada e que a resistência à compressão revelou-se adequada e sensível à evolução da reactividade.

Os resultados obtidos na Fase 1 do estudo permitiram otimizar as condições de preparação da cinza através da análise conjunta da evolução da reactividade da cinza com o incremento da sua finura e do tempo, energia e desperdício necessários para atingir determinada finura.

A análise conjunta destes aspectos levou à selecção das cinzas CP500 e CP250 para a análise da influência das condições de cura nas características de argamassas de cal aérea formuladas

com cinza de casca de arroz. As cinzas CP500 e CP250 possuem máxima dimensão de 500µm e 250µm, respectivamente, e correspondem ao material da cinza de casca de arroz comercial passado, por peneiração, nos peneiros com abertura de 500µm e 250µm.

A análise comparativa de argamassas de cal aérea formuladas com cinza permite verificar que a presença da cinza de casca de arroz originou incremento significativo da resistência mecânica, da porosidade e da capacidade de absorção de água das argamassas com ela formuladas, bem como redução da cinética de secagem.

Os valores de tensão de rotura à compressão e flexão evidenciaram a influência da finura da cinza dado que se registou o incremento de resistência mecânica com o aumento da finura da cinza.

As condições de cura revelaram-se determinantes para as características das argamassas formuladas com cinza de casca de arroz, dada a sua influência no desenvolvimento da reactividade pozolânica. Os resultados obtidos apontam para que as condições de cura sejam tanto mais importantes quanto maior for a reactividade da cinza.

A análise das características das argamassas formuladas com cinza submetidas às três condições de cura estudadas, apontam para que as argamassas não tenham sido sensíveis às diferenças de condições ambientais associadas às curas ambiente e seca.

As argamassas com cinza submetidas a cura húmida foram as que apresentaram menores valores de porosidade, maiores valores de resistência mecânica e maior dificuldade de secagem, distinguindo-se claramente das características das argamassas quando sujeitas às restantes condições de cura estudadas.

As condições de cura revelaram importância significativa na susceptibilidade à fendilhação e na aderência das argamassas aos tijolos, dado que não se registou fendilhação nas argamassas com cinza submetidas a cura húmida, enquanto que sob as restantes condições de cura ocorreu um desenvolvimento de fendilhação importante. Este facto leva à necessidade de, em condições reais de aplicação deste tipo de argamassas, se definirem condições de cura que limitem a evaporação de água das argamassas, dado que a cura húmida favorece a reacção pozolânica e limita a ocorrência de fendilhação. Isto porque a água utilizada para a amassadura evapora rapidamente, o que vai contra o processo de reacção pozolânica que é lento. A reacção que ocorre entre a sílica e alumina da cinza de casca de arroz e o hidróxido de cálcio da cal aérea é uma reacção que ocorre, como já se referiu, lentamente e como tal, ao sujeitar-se uma argamassa com componentes desse tipo a uma condição de cura que leva à rápida evaporação da água poder-se-á impedir ou limitar o desenvolvimento das reacções pozolânicas. A rápida perda de água por evaporação limita a formação de compostos hidráulicos, ou seja, aluminatos e silicatos de cálcio hidratados. Assim sendo, uma parte dos componentes pozolânicos presentes não actuam como ligante. Refira-se que, quanto mais rápida for a evaporação da

água de amassadura menos tempo durará a reacção pozolânica e menos aproveitados serão os componentes.

Em resumo, o estudo apresentado evidenciou a reactividade da cinza de casca de arroz estudada, a afectação das condições de cura e a potenciação das suas características quando aplicadas em argamassas de cal aérea submetidas a condições de cura húmida, bem como o interesse da continuação do estudo da sua utilização como adição pozolânica em argamassas de cal aérea.

7. PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Considera-se que futuramente será interessante estudar a optimização da quantidade de cinza de casca de arroz e de água a utilizar na formulação de argamassas de cal com esta adição pozolânica.

Existe ainda interesse em avaliar a utilização deste tipo de adições pozolânicas no âmbito de misturas ligantes à base de cal hidráulica ou cimento.

Tendo em consideração a possibilidade de aplicação deste tipo de argamassas para a reabilitação do património edificado será interessante aprofundar o estudo da aderência às alvenarias antigas quando submetidas a diferentes condições termo-higrométricas.

Um melhor conhecimento da retracção de argamassas com este tipo de formulações também justifica ser alvo de estudos futuros.

BIBLIOGRAFIA

European Mortar Industry Organization. 2001. EMOdico - Dicionário Técnico. 3rd Edition [ed.] European Mortar Industry Organization. s.l. : European Mortar Industry Organization, 18 de Dezembro de 2001.

ABRAMS, D.A. 1925. Desing of concrete mixtures. *Structural Materials Research Laboratory - Lewis Institute Bulletin*. Chicago : s.n., 1925. 1, p. 20.

AGOSTINHO, Cláudia Sofia Araújo. 2008. *Estudo da Evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea*. Lisboa : s.n., 2008.

AGOSTINHO, Cláudia Sofia Araújo. 2008. Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea. *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, Abril de 2008.

ALMEIDA, N., FARIA, P. e FERREIRA PINTO, A. P. 2007. Argamassas com Base em Cal Aérea e Cinzas de Casca de Arroz para Conservação do Património Construído. *2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção (disponível em CD-Rom)*. s.l. : APFAC, Novembro de 2007.

ALMEIDA, Nuno Filipe Gouveia de. 2008. Argamassas de cal aérea e cinza de casca de arroz para alvenarias antigas. *Tese Mestrado em Recuperação e Conservação do Património Construído*. Lisboa : Instituto Superior Técnico (IST), Abril de 2008.

ALVES, Amália, CARASEK, Helena e Oswaldo, CASCUDO. 2010. Influência da umidade do revestimento na resistência superficial avaliada por diferentes métodos de ensaio. s.l. : http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2044_2010.pdf , 2010.

AMPATZIOGLOU, Eirini, et al. 2010. Lime - Natural Pozzolan Conservation Mortars: Parameters that Affect Reactivity and Strength. *2nd Historic Mortars Conference HMC2010 and RILEM TC 203-RHM Final Workshop*. Prague, Czech Republic : s.n., 2010. pp. 845 - 852.

ASTM, American Society for Testing and Materials. 2006. ASTM C593 - 06 Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime for Soil Stabilization. s.l. : ASTM International, 2006.

—. 2000. ASTM C593-95: Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime. 2000.

BALEN, K. Van. 2005. Carbonation reaction of lime, kinetics at ambient temperature. *Cement and Concrete Research*. s.l. : Elsevier, 2005. 35, pp. 647-657.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier e CINCOTTO, Maria Alba. 2001. Retração e Desenvolvimento de Propriedades Mecânicas de Argamassas Mistas de Revestimento. São Paulo : Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2001.

BAUER, Elton e al, et. 2005. REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA: CARACTERÍSTICAS E PECULIARIDADES. Brasília : Universidade de Brasília, 2005.

BOTAS, Sandro Miguel dos Santos. 2009. Avaliação do Comportamento de Argamassas em Climats Frios. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa, 2009.

BOTELHO, Patrícia Cláudia. 2003. *Argamassas tradicionais em suportes de alvenaria antiga: comportamento em termos de aderência e durabilidade.* Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Lisboa, IST/UTL : s.n., 2003.

BRITO, Vânia Patrícia Santos. 2009. *Influência dos Revestimentos por Pintura na Secagem do Suporte.* Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2009.

BRONZEOAK, LTD. 2000. Rice husk market study. s.l. : © Crown copyright, 2000.

CALLEJA, J. 1983. Adiciones y cementos con adiciones. *Materiales de Construction.* Madrid : s.n., 1983. 190-191.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira e CINCOTTO, Maria Alba. 1999. Dosagem de Argamassas através de Curvas Granulométricas. São Paulo : Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1999.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira, CINCOTO, Maria Alba e JOHN, Vanderley M. 1997. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das Características de argamassas. São Paulo, Brasil : Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Julho de 1997.

CAVACO, Luís S. R. Gomes. 2005. *Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos.* Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Lisboa, IST/UTL : s.n., 2005.

CDAC, Centro de Desenvolvimento de Aplicações de Cimento. 2010. Influência da finura da cinza de casca de arroz na reactividade pozolânica - caracterização da cinza de casca de arroz. s.l. : SECIL, 2010.

CHANDRASEKHAR, S e al, et. 2003. Review. Processing properties and applications of reactive silica from rice husk - an overview. s.l. : Journal of Materials Science, 2003. 38, pp. 3159-3168.

CHANDRASEKHAR, S. e al, et. 2003. Review. Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk – an overview . *Journal of Materials Science*. 2003. 38, pp. 3159-3168.

COSTA, LAUREANO LEITE. 2008. O USO DE ARGAMASSAS TRADICIONAIS E PRÉ-DOSEADAS PARA IMPERMEABILIZAÇÃO EM REVESTIMENTOS EXTERIORES. Vila Real : UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO, 2008.

COUTINHO, A. Sousa. 1988. Fabrico e propriedades do betão. Lisboa : LNEC, 1988. Vol. Volume I.

Coutinho, Joana de Sousa. 2002. *Ciência de Materiais: Ligantes e agregados*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2002.

COUTINHO, Joana de Sousa. 2006. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO 2: 1ª PARTE – LIGANTES E CALDAS. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2006.

—. 1999. Materiais de Construção I - Agrgados para argamassas e betões. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 1999.

CRUZ, Nuno Tiago Custódio Ceríaco. 2008. Estudo da influência da granulometria das areias no desempenho de rebocos de ligante hidráulico. Lisboa : Instituto Superior Técnico, Novembro de 2008.

DELLA, Viviana Possomai, KUHN, Ingborg e HOTZA, Dechamir. 2001. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refractários de sílica. [ed.] Química Nova. Santa Catarina : Departamento de Engenharia Mecânica/ Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais - Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Vol. 24, 6, pp. 778-782.

EMOdico. 2001. Dicionário Técnico - European Mortar Industry Organization. 3ª Edição 18 de Dezembro de 2001.

EN1015-1. 1998. Methods of test for mortar masonry - Part 1: Determination of Particle size distribution by sieve analysis". 1998.

EN1015-11. 1999. Methods of test for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. s.l. : CEN - Comité Européen de Normalisation, 1999.

EN1015-18. 1999. Methods of test for mortar for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. s.l. : CEN - Comité Européen de Normalisation, 1999.

EN1015-2. 1998. Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. s.l. : CEN, 1998.

EN1015-3. 1999. Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). s.l. : CEN - Comité Européen de Normalisation, 1999.

EN1015-6. 1998. Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. s.l. : CEN - Comité Européen de Normalisation, 1998.

FARIA RODRIGUES, Maria Paulina Santos Forte de. 2004. Argamassas de Revestimento para Alvenarias Antigas: Contribuição para o estudo da influência dos ligantes. *Tese de Doutorado*. Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2004.

FARIA, Paulina. 2009. Seminário sobre Argamassas de revestimento em edifícios antigos - contribuição para a sua reabilitação: Influência da aplicação nas características e patologia dos rebocos. Coimbra : ITeCons, Outubro de 2009.

FRAGATA, A. e al., et. 2007. Incorporação de resíduos de vidro em argamassas de revestimento – avaliação da sua influência nas características da argamassa. *2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção (CD-ROM)*. Lisboa : APFAC, Novembro de 2007.

FÜLLER, Willian B., THOWPSON, Sanford E. 1907. The Laws of Proportioning Concrete. *Proceedings of American Society*. Março de 1907. Vol. Vol. XXXIII, N.3.

FURNAS, C. C. 1931. Industrial and Engineering Chemistry. 1931. Vol. 23.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos, GOMES, Rubens Donizeti e SEABRA, Mauro Adamo. 2004. Guia das Argamassas nas Construções. [ed.] 3a edição. s.l. : Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 2004.

HEWLETT, Peter C. 2003. Lea's Chemistry of Cement and Concrete. Fourth Edition [ed.] Peter C. Hewlett. Glasgow, Oxford, U.S.A. : Elsevier Ltd, 2003.

JUNIOR, Luiz Roberto Prudêncio, DAFICO, Dario de Araújo e SANTOS, Silvia. Cinza da Casca de Arroz. *Coletânea Habitar - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional*. s.l. : <http://www.scribd.com/doc/6687534/4coletanea-Habitar-Utilizacao-de-Residuos-Na-Construc-Habitac>. Vol. 4.

KIELING, Amanda, et al. 2009. Influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento. s.l. : Estudos Tecnológicos, Maio/Agosto de 2009. Vols. Vol. 5, nº 2.

LANAS, J. e ALVAREZ, J. I. 2003. Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behaviour. *Cement and Concrete Research* 33. s.l. : Elsevier, 2003.

LANGE, F., MORTEL, N. e RUDERT, V. 1997. Dense packing of cement pastes and resulting consequences on mortar properties. s.l. : Cement and Concrete Research, 1997. Vol. 27, pp. 1481-1488.

LEA, F. M. 1938. The Chemistry of Pozzolans. *Symposium on the Chemistry of Cement*. Stockholm : s.n., 1938.

LEITE, Mónica Batista e MOLIN, Denise Dal. 2002. Avaliação da actividade pozzolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de C&D. s.l. : http://www.uefs.br/sitientibus/pdf/26/avaliacao_da_atividade_pozolanica.pdf, 2002. 26.

LITO, P.J., RIBEIRO, N.D. e BEGONHA, A. 2006. Acção da Argamassas de Cimento Portland sobre Pedras de Granito do Porto. s.l. : F.E.U.P. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.

LUXÁN, M.P., MADRUGA, F. e SAAVEDRA, J. 1989. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. *Cement and Concrete Research*. 1989. Vol. 19, 1.

MAEDA, N., et al. 2001. Development of a New Furnace for the Production of Rice Husk Ash. In: *MALHOTRA, V.M. (ed) 7th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans. Proceedings. American Concrete Institute. Detroit*. 2001. Vol. 2.

MALVA, Marta de Sousa e. 2009. Argamassas de reboco para edifícios antigos: contributo para a avaliação do seu desempenho através de técnicas de ensaio "in situ" e laboratoriais. Lisboa : Instituto Superior Técnico, Fevereiro de 2009.

MARGALHA, Maria Goreti e al, et. 2007. Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea. *A Conservação de Rebocos de Cal - Melhora da Técnica e Materiais de Restauro Arquitectónico*. Lisboa : LNEC, 2007.

MARQUES, Sofia Margarida Figueiredo. 2005. Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos. Aveiro : Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro, 2005.

MARTINS, André Miguel Malha. 2008. Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco. Lisboa : Instituto Superior Técnico, Novembro de 2008.

MARTINS, João Guerra e PAIVA, Pedro Alves. 2006. Materiais de Construção I: Ligantes. s.l. : Universidade Fernando Pessoa (UFP), 2006.

MARTINS, João Guerra e ROSA, Celina C. 2005. Reabilitação da envolvente vertical opaca de edifícios. 1ª Edição *Série de Reabilitação*. 2005.

MASCARENHAS, Jorge. 2007. *Sistemas de construção, II- Paredes: Paredes exteriores (1ª Parte)*. 5ª Edição. Lisboa : Livros Horizonte, 2007. Vol. Volume II.

MASSAZZA, F. 1974. Chemistry of Pozzolan Additions and Mixed Cements. *6th International Congress on the Chemistry of Cement*. Moscow : s.n., 1974. Vol. 3.

MCCARTER, W.J. e TRAN, D. 1996. Monitoring pozzolanic activity by direct activation with calcium hydroxide. *Construction and Building Materials*. 1996. Vol. 10, 3.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. 1994. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo : s.n., 1994.

MEHTA, P.K. e PITT, N. 1977. A new process of rice utilization. *International conference on the utilization of rice by-products*. Valencia : s.n., 1977. pp. 45-58.

MENDONÇA, Bruno de Viveiros. 2007. Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas: Influência do Ligante. Lisboa : Instituto Superior Técnico, Novembro de 2007.

METHA, P.K. 1983. Pozzolan and Cementitious byproducts as mineral admixtures for concrete – A critical Review. *Proc. First Int. Conf. on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-products in Concrete*. Montebello, Canada : s.n., 1983. pp. 1-46.

MORALES, Gilson. 1997. Aproveitamento do lodo de esgoto sanitário como matéria prima para a produção de pozolana. *Ci. Exatas/Tecnol. Londrina*. 1997. Vol. 18/20, 4.

MOROPOULOU, A. e al., et. 2005. Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries. *Cement and Concrete Composites*. s.l. : Elsevier, 2005. Vol. 27, pp. 289-294.

MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A, e AGGELAKOPOULOU, E. 2004. Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis. *Thermochimica Acta*. 2004. 420, pp. 135-140.

NAIR, D.G., et al. 2007. A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. *Cement and Concrete Research*. 2007.

NEHDI, M e al., et. 2003. Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete. *Cement and Concrete Research*. 2003. 33, pp. 1203-1210.

NEVILLE, A. M. 1995. Properties of concrete. 4th [ed.] Longman. London : s.n., 1995.

NP_EN206-1. 2007. Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. s.l. : Comité Européen de Normalisation, 2007.

NP-EN1097:3. 2000. 2000.

PAPAYIANNI, Ioanna e STEFANIDOU, Maria. 2006. Strength- porosity relation-ships in lime-pozzolan mortars. *Construction and Building Materials* - 20. 2006.

PAULO, Raquel Sofia V. M. Nascimento. 2006. Caracterização de Argamassas Industriais. Aveiro : Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro, 2006.

PENAS, Filipa Ezequiel. 2008. Argamassas de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes. s.l. : Instituto Superior Técnico, Novembro de 2008.

PEREIRA, Manuel Fernando Paulo. 2005. Anomalias em Paredes de Alvenaria sem Função Estrutural. Guimarães : Universidade do Minho - Escola de Engenharia, 2005.

PEREIRA, Tiago André Reis. 2008. Optimização das características de humedecimento e secagem de argamassas. Lisboa : Departamento de Engenharia Civil, UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, FCT, 2008.

PINTO, Ana Paula e Gomes, Augusto. 2008. Materiais de Construção I - Documento de Apoio nº 6. *Argamassas e Betões*. Lisboa : Secção de Folhas.

PINTO, Ana Paula Ferreira, et al. 2010. Argamassas de cal aérea e cinza de casca de arroz. Influência da finura da cinza na reactividade pozolânica. *3.º Congresso Português Argamassas de Construção*. Lisboa : APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, 2010.

prEN1015-8. 1999. Methods of test for mortar for masonry - Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar. s.l. : CEN - Comité Européen de Normalisation, 1999.

R.B.L.H. 1991. Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos. s.l., Portugal : Porto Editora, 1991. pp. 117-176.

RATO, Vasco Nunes da Ponte Moreira. 2006. Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa, FCT, 2006.

ricehuskash. 2010. www.ricehuskash.com. [Online] Agosto de 2010.

ROJAS, Ignacio G. 2002. *Artes de la Cal*. [ed.] Universidad de Alcala Instituto Español de Arquitectura. Alcala : s.n., 2002.

SAMPAIO, J., COUTINHO, J. e SAMPAIO, M.N. 2000. Portuguese rice husk ash as partial cement replacement. Proceeding of the International Conference: Sustainable Construction into

the next Millennium: Environmentally friendly and innovate cement based materials. Novembro de 2000.

SANTOS, Maria Inês Nascimento dos. 2009. Argamassas de revestimento para paredes de edifícios antigos com incorporação de adições pozolânicas. Lisboa : Instituto Superior Técnico, Novembro de 2009.

SANTOS, Sílvia. 2006. PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DO USO DE POZOLANA COM BAIXO TEOR DE CARBONO OBTIDA DA CINZA DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL PARA CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO. *Pós Graduação em Engenharia Civil*. Florianópolis : UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - Centro Tecnológico, 2006.

SOEIRO E SÁ, Abel Francisco. 2005. *Rebocos em paredes de pedra e cal*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Lisboa, IST/UTL : s.n., 2005.

SOUSA COUTINHO, A. 2006. Fabrico e Propriedades do Betão. 4ª Edição s.l., Lisboa : LNEC, 2006. Vol. Volumes 1 e 2.

—. **1985.** Os Materiais de Construção nos Edifícios. *Simpósio Nacional de Materiais e Tecnologias na Construção de Edifícios*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 1985.

—. **1958.** Pozolanas, betões com pozolanas e cimentos pozolânicos. Lisboa : LNEC, 1958.

SOUSA COUTINHO, A. S. 2006. Fabrico e propriedades do betão. 4ª Edição Lisboa : LNEC, 2006. Vol. Volume I e II.

SOUSA, S. B. 2005. Betões eco-eficientes com cinza de casca de arroz. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2005.

STEFANIDOU, M. e PAPAYIANNI, I. 2005. The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars. *Cement and Concrete Composites* - 27. s.l. : Elsevier, 2005.

SWAMY, R.N. 1993. Fly ash and slag: standards and specifications - help or hindrance? *Materials and Structures* - RILEM 26. 1993. pp. 600-613.

TASHIMA, M. M., SILVA, Carlos A. R. e AKASAKI, Jorge L. 2009. Estudo da Influência da CCA em Argamassas e Concretos. s.l. : <http://www.ppgec.feis.unesp.br/producao2004/Estudo%20da%20influ%EAncia%20da%20CCA%20em%20argamassas%20e%20concretos.pdf>, 29 de Outubro de 2009.

TASHIRO, C., IKEDA, K. e INOUE, Y. 1994. Evaluation of pozzolanic activity by the electric resistance measurement method. *Cement and Concrete Research*. 1994. Vol. 24, 6.

UNGERICHT, José L. 2002. Acabamento de parede de alvenaria com revestimento de escariola. Florianópolis, Brasil : Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

UZAL, B., et al. 2008. Pozzolanic activity of clinoptilolite: A comparative study with silica fume, fly ash and a non-zeolitic natural pozzolan. *Cement and Concrete Research*. s.l. : Elsevier, 2008. Vol. 40, pp. 398 - 404.

VEIGA, M. Rosário. 1997. Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. [ed.] Coleção Teses de Doutoramento. *Tese para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*. Lisboa : LNEC, 1997.

VELOSA, Ana. 2007. Argamassas com pozolanas para aplicação na conservação de edifícios. http://icomos.fa.utl.pt/eventos/beja2007/AV_Beja_20070920.pdf. 2007.

VELOSA, Ana L. P. Lomelino. 2006. Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas. Aveiro : Universidade de Aveiro (UA), 2006.

WANSOM, Supaporn, JANJATURAPHAN, Sirirat e SINTHUPINYO, Sakprayut. 2009. Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash : Comparison of Various Electrical Methods. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 2009. Vol. 19, 2.

ZHANG, M. H., LASTRA, R. e MALHOTRA, V. M. 1996. Rice husk ash paste and concrete: some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and past. Pergamon : Cement and Concrete Research, 1996. Vol. 26, 6, pp. 963-977.

ANEXOS

Anexo 1 - Ficha de dados de segurança e ficha de especificações da cal hidratada para construção

1. Identificação da substância e da empresa

1.1. Identificação da substância

Nome da substância	Cal hidratada
Sinónimos	Cal morta, cal apagada, hidróxido de cálcio
Nome químico e fórmula	Hidróxido de Cálcio - Ca(OH)₂
N.º CAS	1305-62-0
N.º EINECS	215-137-3
Peso Molecular	74,09

1.2. Utilizações

Base forte: Neutralização, Floculação, Estabilização, Tratamento de gases, Inertização, Higienização, Refinição, Fluxo, Descarbonatação, Ligação, Argamassas, Filler, Calagem (agricultura); Aditivação alimentar

1.3. Identificação do produtor

Nome	Calcidrata – Indústrias de Cal, S. A.
Endereço	Estrada 5 de Outubro, Pé da Pedreira, 2025-161 Alcanede – Portugal
Telefone	(+351) 243 409 030
Fax	(+351) 243 409 039

1.4. Contactos de emergência

N.º Europeu de Emergência	112
N.º do Centro de Informação Anti-venenos	808 250 143
Endereço electrónico da pessoa responsável pela ficha de dados de segurança	nuno.baptista@calcidrata.pt

2. Identificação de perigo

Xi Irritante



2.1. Saúde humana


Frases de risco	R37 Irritante para o sistema respiratório R38 Irritante para a pele R41 Risco de sérios danos para a vista
Frases de perigo	A par do próprio produto em pó, o produto quando diluído em água, pode produzir sérios danos para a pele (queimaduras alcalinas), especialmente se houver lugar a um contacto prolongado. É recomendado haver disponibilidade de água corrente nas imediações do local onde ocorre o manuseamento do produto.

3. Composição / informação sobre os componentes

3.1. Composição

Hidróxido de cálcio, pequenas quantidades de carbonato de cálcio, óxido de cálcio, óxido de magnésio, óxido de silício, óxido de alumínio, óxido de ferro e elementos residuais.

3.2. Caracterização química

3.2.1. N.º CAS	1305-62-0
3.2.2. Nome químico	Hidróxido de cálcio
3.2.3. Símbolo	Xi Irritante 
3.2.4. Frases de risco	R37 – R38 – R41 – Ver detalhes nas secções 3 + 15
3.2.5. N.º EINECS	215 – 137 - 3

4. Medidas de primeiros socorros

4.1. Olhos

A rapidez é essencial. Lavar **imediate** e abundantemente com água corrente durante 15 a 20 minutos. **Procurar ajuda médica.** Causa uma irritação dolorosa e pode causar sérios danos para a vista.

4.2. Inalação

Retirar a fonte de poeira ou remover a vítima para um local arejado. Manter a vítima aquecida e em repouso. Lavar abundantemente o nariz e a garganta com água por 15 a 20 minutos. Procurar ajuda médica. Irritação para o aparelho respiratório, podendo causar inflamações.

4.3. Ingestão

Lavar abundantemente a boca e ingerir generosas quantidades de água. Não provocar o vômito. Procurar ajuda médica, se necessário. Pode ocorrer irritação do aparelho gastrointestinal.

4.4. Pele

Cuidadosamente, limpar as áreas contaminadas de forma a remover qualquer vestígio de produto. Lavar a área afectada imediatamente, usando abundantemente água durante 15 a 20 minutos. Remover a roupa contaminada. Consultar um médico se verificarem queimaduras ou se a irritação persistir.

5. Medidas de combate a incêndio

5.1. Inflamabilidade

O produto não é inflamável nem combustível. Inibe a propagação de chamas.

5.2. Meios de extinção

O produto não arde. Usar agentes extintores tipo ABC para combate a incêndios circundantes.

5.3. Produtos combustíveis

Quando sujeito a temperaturas acima de 580° C, o hidróxido de cálcio decompõe-se, formando óxido de cálcio (CaO) e água (H₂O). O óxido de cálcio reage com água, gerando calor. Tal poderá causar riscos para materiais inflamáveis.

6. Medidas em caso de fugas acidentais

6.1. Precauções pessoais

Evitar o contacto com pele e olhos, manter os níveis de poeira no mínimo possível, assegurar ventilação suficiente ou usar equipamento respiratório adequado.

6.2. Precauções ambientais

Evitar derrames. Manter o produto seco. Cobrir áreas afectas para evitar poeiras. Evitar derrames não controlados para cursos de água (incremento do pH). Qualquer derrame em larga escala para cursos de água deverá ser comunicado às autoridades ambientais ou a qualquer autoridade.

6.3. Métodos de limpeza

Manter, dentro do possível, o material seco. Usar meios mecânicos por via seca. Usar unidades de sucção por vácuo, ou uma pá, para colocar o produto dentro de sacos.

7. Manuseamento e armazenagem

7.1. Manuseamento

7.1.1. Precauções para um manuseamento seguro

Evitar o contacto com a pele e olhos. Usar equipamento de protecção (ver secção 8). Manter os níveis de poeiras no mínimo e minimizar a geração das mesmas. Delimitar as fontes de poeiras, usando ventilação de exaustão.

7.2. Armazenamento

7.2.1. Precauções para um armazenamento seguro

Armazenar em local seco. Minimizar as exposições ao ar e a humidades. A armazenagem a granel deverá ser feita em silo adequados. Manter o produto afastado de ácidos, quantidades significativas de papel, feno e nitro-componentes. Manter fora do alcance de crianças. **Não usar meios de alumínio para o transporte, se houver risco de contacto com água.**

7.3. Requisitos de ventilação

Equipamentos de ventilação devem ser usados em edifícios de modo a assegurar que os níveis de poeiras são mantidos abaixo dos limites de exposição ocupacional – NP 1796 / 2004.

8. Controlo da exposição / protecção pessoal

8.1. Valores limite de exposição

8.1.1. N.º CAS / N.º EINECS	1305-62-0 / 215-137-3
8.1.2. Nome químico	Hidróxido de cálcio
8.1.3. Valores de exposição ocupacional	Portugal, Reino Unido, Alemanha, França, Dinamarca e Estados Unidos: 5 mg/m3

8.2. Controlo da exposição

8.2.1. Controlo de exposição ocupacional	Sistemas de manuseamento devem ser delimitados, com ventilação apropriada instalada, de modo a manter as poeiras abaixo dos limites de exposição ocupacional, se não se usar equipamento de protecção adequado.
8.2.1.1. Protecção respiratória	Usar máscaras aprovadas de acordo com a EN 149, categoria FFP2.
8.2.1.2. Protecção das mãos	Usar luvas impregnadas de nitrilo, com a respectiva marcação CE
8.2.1.3. Protecção ocular	Usar óculos perfeitamente ajustados com protecção lateral. Não usar lentes de contacto quando se manuseia este produto. É aconselhável fazer-se acompanhar de um descongestionante ocular
8.2.1.4. Protecção da pele	A roupa deve cobrir totalmente a pele, usando calças compridas, mangas compridas e justas nos punhos. Calçado resistente a agentes cáusticos e que evitem a penetração de poeiras.
8.2.1.5. Segurança geral e medidas de higiene	Usar equipamento de protecção pessoal limpo e seco. Creme protector também pode ser usado. Para pessoal exposto diariamente, tomar banho de duche e usar o creme protector para as zonas expostas, nomeadamente, pescoço, face e pulsos
8.2.2. Controlo de exposição ambiental	Todos os sistemas de ventilação devem ser filtrados antes da descarga para a atmosfera.

9. Propriedades físicas e químicas

9.1. Informação geral

9.1.1. Aparência	Pó fino, branco ou bege
9.1.2. Odor	Ligeiro odor a terra

9.2. Importante informação de saúde, segurança e ambiental

pH	12,5 Ca(OH) ₂ , solução saturada a 20° C
Solubilidade em água	1850 mg/l a 0° C 1650 mg/l a 20° C 770 mg/l a 100° C
Solubilidade	Solúvel em sais amoniacais, ácidos e glicerina. Insolúvel em álcool.

9.3. Outras informações

Ponto de fusão	Decomposição aos 580° C, formando CaO e H ₂ O
Ponto de ebulição	Não aplicável
Superfície específica	2,24 g/cm ³ , a 20° C
Densidade	500 – 800 kg/m ³ , a 20° C
Pressão de vapor	Não volátil
Coeficiente de partição	Não aplicável
Ponto de ignição	Não aplicável
Inflamabilidade	Não inflamável
Propriedades explosivas	Não explosivo

10. Estabilidade e reactividade

10.1. Condições a evitar

Minimizar a exposição atmosférica e a humidades de modo a evitar a degradação do material. Quando aquecido acima de 580° C, o hidróxido de cálcio decompõe-se em óxido de cálcio (CaO) e água (H₂O): Ca(OH)₂ = CaO + H₂O.

10.2 Materiais a evitar

O hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono formando carbonato de cálcio: Ca(OH)₂ + CO₂ = CaCO₃
O hidróxido de cálcio reage com ácidos formando sais de cálcio.

O hidróxido de cálcio reage com alumínio e latão na presença de humidade, libertando hidrogénio:
 $\text{Ca(OH)}_2 + 2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} = \text{Ca(Al(OH)}_4)_2 + 3\text{H}_2$

10.3. Observações adicionais

Hidróxido de cálcio absorve o dióxido de carbono da atmosfera formando carbonato de cálcio, o qual é um material comum na natureza

11. Informação toxicológica

11.1. Efeitos

Contacto com a vista	Pode causar uma dor bastante irritante. Risco de severas e permanentes lesões para a vista
Inalação	Inalação de poeiras causa desconforto na parte superior do aparelho respiratório. Irritante para o aparelho respiratório em situações de elevada concentração de poeiras
Ingestão	O hidróxido de cálcio não é tóxico, sendo usado como aditivo alimentar. Em elevadas quantidades pode causar irritação no aparelho gastrointestinal.
Contacto com a pele	Irritante para a pele na presença de humidade.

11.2. Exposições longas ao produto

Contacto com a vista	Risco de severas e permanentes lesões na vista
Inalação	Prolongada e repetida inalação de poeiras pode provocar lesões no aparelho respiratório
Contacto com a pele	Em caso de prolongado contacto, o produto pode causar sérias lesões para a pele, especialmente se combinado com humidades.

12. Informação ecológica

12.1 Ecotoxicidade

12.1.1. Toxicidade para os peixes	Se LC50 > 100 mg/l, a substância não é tóxica.
12.1.2. Toxicidade para os invertebrados aquáticos	Não existem dados
12.1.3. Toxicidade para as plantas aquáticas	Não existem dados
12.1.4. Toxicidade para os microrganismos	A altas concentrações, pela subida do pH, o hidróxido de cálcio é usado para tratamento de lamas e águas residuais
12.1.5. Toxicidade crónica para organismos aquáticos	Não existem dados
12.1.6. Toxicidade para os organismos que habitam o solo	O hidróxido de cálcio é usado como fertilizante
12.1.7. Toxicidade para as plantas terrestres	O hidróxido de cálcio é usado como fertilizante
12.1.8. Efeitos gerais	Apesar do produto ser usado para corrigir a acidez da água, quando a sua concentração for superior a 1 g/l, torna-se nocivo para a vida aquática.

12.2. Mobilidade

O hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono, formando carbonato de cálcio.

12.3. Persistência e degradabilidade

O hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono, formando carbonato de cálcio, o qual é um material comum na natureza.

12.4. Potencial bio-acumulativo

Não há bio-acumulação detectável. Materiais solúveis em cálcio e carbonato de cálcio encontram-se naturalmente nos ecossistemas.

13. Considerações relativas à eliminação

Comentário	É possível o uso posterior, se removido por via seca.
Identificação do resíduo de acordo com a lista de resíduos	O resíduo resultante deste produto não é considerado perigoso, de acordo com decisão datada de 16 de Janeiro de 2001, da Comissão Europeia, a qual modifica a decisão 2000/532/CE, acerca da lista de resíduos (101304).

14. Informações relativas ao transporte

14.1. Considerações

14.1.1. Classificação	Não é classificado como produto perigoso para transporte
14.1.2. ADR (Transporte rodoviário)	Não sujeito a identificação

14.1.3. RID (Transporte ferroviário)	Não sujeito a identificação
14.1.4. IMDG / GGVSea (Transporte marítimo)	Não sujeito a identificação – Não é um poluente marítimo
14.1.5. IATA – DGR / ICTAO-TI (Transporte aéreo)	Não sujeito a identificação

14.2. Precauções especiais

Evitar a libertação de poeiras durante o transporte, usando cisternas ou caixas totalmente cobertas, no caso de granéis.

15. Informação sobre regulamentação

15.1. Marcação de acordo com as Directivas CE

15.1.1. Símbolo e classificação do produto

Xi Irritante



15.1.2. Restrições ao comércio e emprego

Não aplicável

15.1.3. Regulações nacionais

Não aplicável

16. Outras informações

16.1. Frases de risco

R37 – irritante para o aparelho respiratório

R38 – irritante para a pele

R41 – risco de lesões sérias para a vista

Tal como na sua forma em pó, o produto diluído em água, pode produzir sérias lesões na pele humana (queimaduras alcalinas), especialmente se ocorrer contacto prolongado.

16.2. Frases de segurança

S2 – Manter fora do alcance das crianças

S25 – Evitar o contacto com a vista

S26 – Em caso de contacto com a vista, lavar imediatamente em água corrente e procurar ajuda médica

S37 – Usar luvas apropriadas

S39 – Usar protecção facial / ocular

16.3. Informação adicional

Esta ficha de dados de segurança complementa as instruções técnicas sem as substituir. A informação aqui contida está baseada no actual estado de informação que se tem do produto, a qual é disponibilizada de boa fé. O utilizador deve estar ciente dos riscos que possam ocorrer pela utilização do produto para outros fins que não aqueles para que foi fabricado. Estes dados de Segurança não dispensam o utilizador de conhecer e aplicar os diplomas que regulamentam a sua actividade. O utilizador é totalmente responsável pelas necessárias precauções a tomar respeitantes à utilização que faça do produto.

16.4. Referências

Folha de dados preparada de acordo com a Directiva 91/155/CEE, modificada pelas directivas 93/112/CEE, 99/45/CE e 2001/58/CE.

Referências:

IUCLID Dataset – 2000

Índice Merck (Ed. Merck & Co., Rahway, USA)

F. Burgher, L. Mathieu, J. Blomet, FDS (AFNOR 2004)

B. Martel, Guide d'analyse du risqué chimique (Dunod 1997)

R. Boynton, Chemistry and Technology of Lime and Limestone (John Wiley 1980)

16.5. Revisão

A presente versão é uma versão totalmente renovada. A data de validação é 18 de Junho de 2008

FICHA DE ESPECIFICAÇÕES DA CAL HIDRATADA PARA CONSTRUÇÃO
(De acordo com a norma EN 459-1 – marcação CE para cal de construção)

PRODUTO: Cal Hidratada “Calcidrata”

REFERÊNCIA: CL 90 – S

NORMA: UNE-EN 459-1

Certificado n.º 1170/CPD/CL.00494

Especificações / Informações:



Análise Química e Física

Parâmetro		Valor limite	Metodologia
Finura (resíduo em % de massa)	0.09 mm	≤ 7	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-6:1996
	0.2 mm	≤ 2	
Expansibilidade (mm)		≤ 20	NP EN 459-2:2002 NP EN 196-3:1996
Penetração/ Água necessária (mm)		10 a 50	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-1:1996
CaO + MgO (% da massa)		≥ 90	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-2:1996
MgO (% da massa)		≤ 5	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-2:1996
CO ₂ (% da massa)		≤ 4	NP EN 459 -2:2002 NP EN 196-2:1996

Elaborado:
CPM

Aprovado:
NQB

Data:
07-11-2007

Anexo 2 - Ficha de caracterização da cinza de casca de arroz pelo laboratório (CDAC, 2010)



**CDAC – CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE
APLICAÇÕES DE CIMENTO**

IST

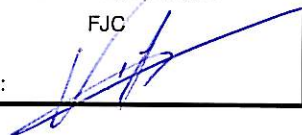
A/C: Prof. Augusto Gomes

07 de Maio de 2010



Influência da finura da cinza de casca de arroz na reactividade pozolânica

Caracterização de cinzas de casca de arroz

Distribuição			Execução	
CDAC <small>CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES DE CIMENTO</small>	Prof. Augusto Gomes	Número de páginas	de 4	Laboratório de CDAC, Secil S.A.
		Número de anexos	de 4	Responsável: Ângela Nunes
		Projecto	35/10	Redigiu: FJC
				Verificou: 

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. ENSAIOS EFECTUADOS	1
3. RESULTADOS OBTIDOS	3
4. COMENTÁRIOS/NOTAS FINAIS	5
ANEXO 1 – Relatório de Ensaio da Granulometria – Método de Peneiração das CCA	6
ANEXO 2 – Granulometrias laser - Malvern	7

1. INTRODUÇÃO/REFERÊNCIAS

Foram recepcionadas no CDAC, por parte do IST - Prof. Augusto Gomes no âmbito do estudo ***“Influencia da finura da cinza de casca de arroz na reactividade pozolanica”***, 6 amostras de cinzas de casca de arroz com diferentes granulometrias, em que foram solicitados os seguintes ensaios de caracterização:

Amostra	CODIGO ENTRADA CDAC	Análise Química e Mineralógica	Superfície Específica	Granulometria
Cinza de casca de arroz	REG 55/10	X	X	X
Cinza de casca de arroz peneirada 500µm	REG 56/10	X	X	X
Cinza de casca de arroz moída e peneirada 500µm	REG 59/10		X	X
Cinza de casca de arroz moída e peneirada 250µm	REG 57/10		X	X
Cinza de casca de arroz moída e peneirada 125µm	REG 60/10		X	X
Cinza de casca de arroz moída e peneirada 75µm	REG 58/10		X	X

2. ENSAIOS EFECTUADOS

A massa das amostras recepcionadas não permitia a execução da totalidade dos ensaios pelo que foram realizados os seguintes:

Amostra	Análise Química	Superfície Específica	Granulometria
Cinza de casca de arroz	X		X
Cinza de casca de arroz peneirada 500µm	X		
Cinza de casca de arroz moída e peneirada 500µm		X	X
Cinza de casca de arroz moída e peneirada 250µm		X	X
Cinza de casca de arroz moída e peneirada 125µm		X	X
Cinza de casca de arroz moída e peneirada 75µm		X	X

Pelos seguintes métodos:

ANÁLISE QUÍMICA

Fluorescência de raio-X

SUPERFÍCIE ESPECÍFICA:

Método de Blaine – segundo NP EN 196-6

Para o cálculo das superfícies específicas através do método de Blaine e uma vez que se desconhecia a massa volúmica da amostra, a massa para o ensaio foi calculada a partir do valor de referencia para CCA conforme bibliografia $\approx 2 \text{ g/cm}^3$. A massa calculada era excessiva para a célula, pelo que se determinou a massa correspondente à capacidade máxima da célula ($\approx 1\text{g}$) e calculou-se a M.V. de referencia para o cálculo da superfície específica.

GRANULOMETRIA

Método Peneiração (CCA)

Método Granulometria Laser (CCA moídas e peneiradas)

3. RESULTADOS OBTIDOS

ANÁLISE QUÍMICA

Na seguinte tabela estão os resultados da análise química das amostras identificadas como cinza de casca de arroz e cinza de casca de arroz peneirada 500µm:

Análise Química (%)		
Material	Cinza de casca de arroz	Cinza de casca de arroz peneirada 500µm
CODIGO CDAC	55/10	56/10
Laboratório Ensaio	FSQP	FSQP
PF	51,77	10,05
RI	-	58,02
SO ₃	0,37	0,67
Cl	0,18	0,41
SiO ₂	44,42	74,54
Al ₂ O ₃	0,29	0,44
Fe ₂ O ₃	0,15	0,27
CaO	1,24	2,9
MgO	0,42	0,77
MnO	0,11	0,26
P ₂ O ₅	0,38	1,28
TiO ₂	0,04	0,03
Na ₂ O	0,2	0,46
K ₂ O	1,86	4,93

Tabela 1 - Análise Química - FSQP SECIL

GRANULOMETRIA – PENEIRAÇÃO

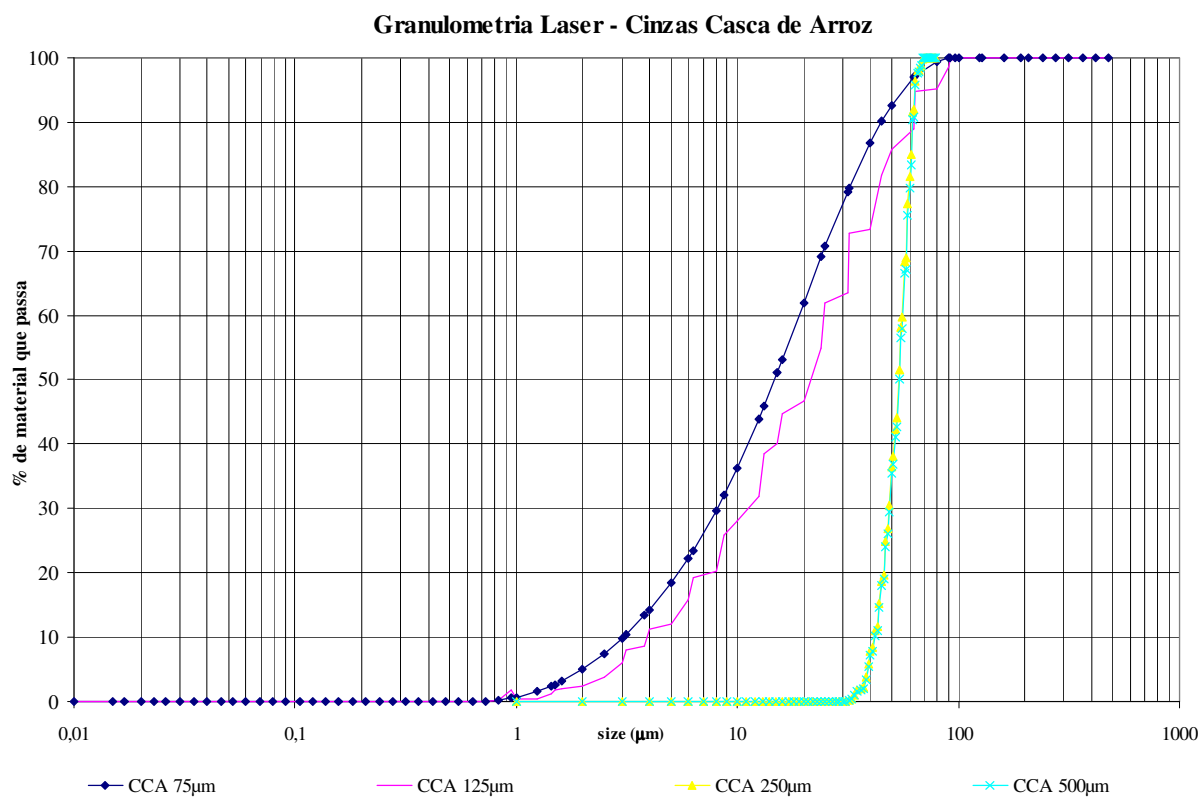
Cinza de Casca de Arroz – **ANEXO 1**

GRANULOMETRIA – LASER

ANEXO 2 :

- Cinza casca de arroz moída e peneirada 75µm
- Cinza casca de arroz moída e peneirada 125µm
- Cinza casca de arroz moída e peneirada 250µm
- Cinza casca de arroz moída e peneirada 500µm

Convertidas em % Cumulativa de material Passado:



SUPERFÍCIE ESPECÍFICA

Massa utilizada para Blaine = 1g

Massa volúmica calculada de ref^a = 1.1 g/cm³

V=1.85 cm³

K= 2.45

AMOSTRA	TEMPO (s)	BLAINE (cm ² /g)
CCA moída e peneirada 250µm	29.91	6385
CCA moída e peneirada 75µm	36.75	7078
CCA moída e peneirada 500µm	26.50	6010
CCA moída e peneirada 125µm	26.91	6056

4. COMENTÁRIOS/NOTAS FINAIS

- Os resultados de Superfície Específica deverão ser analisados tendo em consideração a forma como foi determinada a MV de referência.
- Pela análise gráfica das granulometrias, as fracções peneiradas de 500 μ m e 250 μ m apresentam distribuições muito semelhantes.

ANEXO 1 – RELATÓRIO DE ENSAIO DA GRANULOMETRIA – MÉTODO DE PENEIRAÇÃO DAS CCA

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
BOLETIM DE ENSAIO

AMOSTRA

Nº BOLETIM DE ENSAIO: R 55 / 2010

CLIENTE: SECIL S.A.

OF. LAB: EJP

ID.AMOSTRA: Cinza de Casca de Arroz

DATA RECEPÇÃO: 19-01-2010

DATA ENSAIO: 19-01-2010

ENSAIO: **ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DE PENEIRAÇÃO (LAVAGEM E PENEIRAÇÃO) E DETERMINAÇÃO DE TEOR DE FINOS**

PROCEDIMENTO INTERNO: PTC03

AMOSTRAGEM: CLIENTE

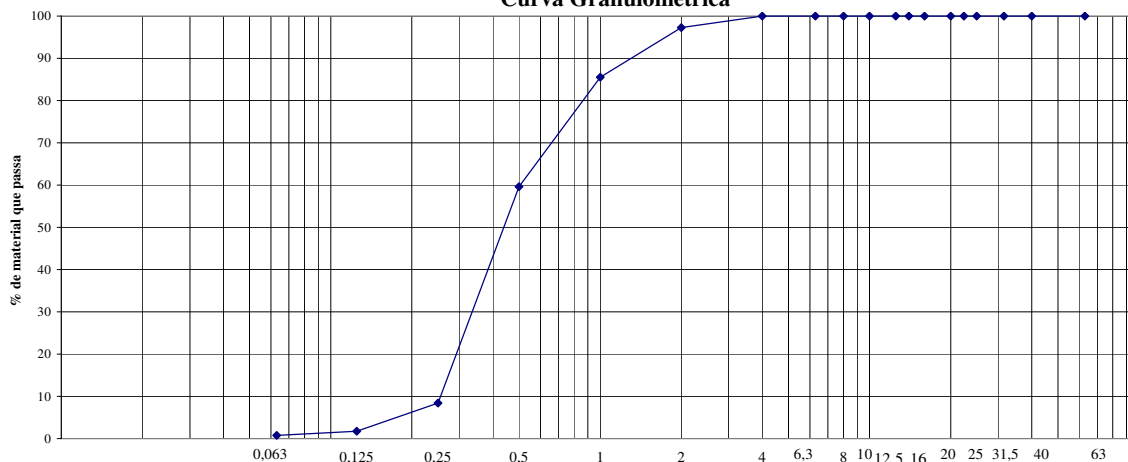
NORMAS DE REFERÊNCIA: NP EN 933-1:2000 EN 933-1:1997/A1

ENSAIO ACRED.: ☐ SIM ☒ NÃO

RESULTADOS

MASSA SECA (g)			Série de peneiros (mm)	Massa do Material Retido (R_i) (g)	% de Material Retido $\frac{R_i}{M_1} \times 100$	% Cumulativa de Material passado $100 - \frac{\sum R_{ij}}{M_1} \times 100$	% Cumulativa de Material Retido $100 - \frac{R_i}{M_1} \times 100$
PROVETE SECO M_1	APÓS LAVAGEM M_2	FINOS REMOVIDOS POR LAVAGEM $(M_1 - M_2)$					
M_1	M_2	$(M_1 - M_2)$	63		0,0	100	0,0
17,4	17,4	0,0	40		0,0	100	0,0
<div><div>DIMENSÃO DO INERTE (mm)</div><div><div>D</div><div>d</div><div>MF</div></div><div><div>2</div><div>0,25</div><div>2,47</div></div><div>% de finos que passa o peneiro de 63 μm f 0,7%</div></div>			31,5		0,0	100	0,0
			25		0,0	100	0,0
			22,4		0,0	100	0,0
			20		0,0	100	0,0
			16		0,0	100	0,0
			14		0,0	100	0,0
			12,5		0,0	100	0,0
			10		0,0	100	0,0
			8		0,0	100	0,0
			6,3		0,0	100	0,0
			4	0,0	0,0	100	0,0
			2	0,5	2,7	97	2,7
			1	2,1	11,8	86	14,5
			0,5	4,5	25,9	60	40,4
			0,25	8,9	51,2	8	91,6
0,125	1,2	6,6	2	98,2			
			* 0,063	0,2	1,0	0,7	99,3
			Refugo --> P	0,1	Validação: $\frac{M_2 - (\sum R_i + P)}{M_s} \times 100 < 1\%$	0%	

Curva Granulométrica



OBSERVAÇÕES:

a) O presente Boletim de Ensaio, que será incluído em Relatório de Ensaio, é composto por 1 página, onde estão os resultados dos ensaios aos itens enviados e só poderá ser reproduzido no seu todo.

* Dados / comentários fora do âmbito da acreditação

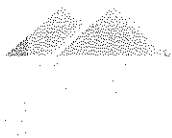
DATA: 19-01-2010

VERIFICOU:

ENSAIOU:

Pág. 1/1

ANEXO 2 – GRANULOMETRIAS LASER - MALVERN



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
Cinza casca de arroz 25 (R58/10) -

Sample Source & type:
Secil

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
QualityControl

Measured by:
Administrator

Result Source:
Averaged

Measured:
quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 10:53:21

Analysed:
quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 10:53:22

Particle Name:
Quality Audit Standard

Particle RI:
1.530

Dispersant Name:

Accessory Name:
Scirocco 2000 with Hopper

Absorption:
0

Dispersant RI:
1.000

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Weighted Residual:
0.568 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
1.61 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0003 %Vol

Span :
2.836

Uniformity:
0.869

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.309 m²/g

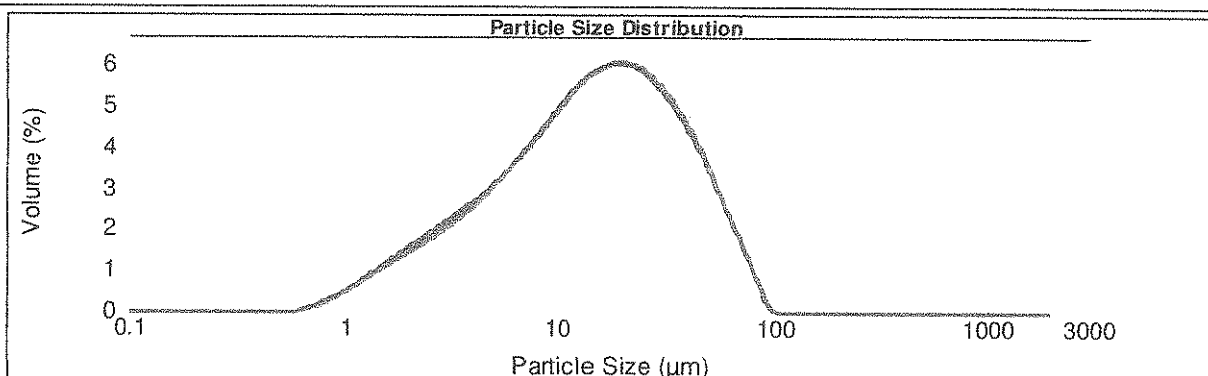
Surface Weighted Mean D[3,2]:
7.469 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
19.894 um

d(0.1): 3.041 um

d(0.5): 14.733 um

d(0.9): 44.817 um



— Cinza casca de arroz 25 (R58/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 10:53:21

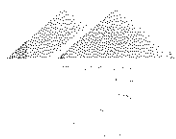
— Cinza casca de arroz 25 (R58/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 10:53:54

— Cinza casca de arroz 25 (R58/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 10:54:41

— Cinza casca de arroz 25 (R58/10) - Average, quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 10:53:21

Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %
0.010	100.00	0.138	100.00	1.445	97.59	15.136	48.97	125.000	0.00	1258.925	0.00
0.015	100.00	0.158	100.00	1.500	97.34	16.000	46.83	128.000	0.00	1445.440	0.00
0.017	100.00	0.182	100.00	1.600	96.87	20.000	38.05	160.000	0.00	1659.587	0.00
0.020	100.00	0.209	100.00	2.000	94.94	24.000	30.90	192.000	0.00	1905.461	0.00
0.023	100.00	0.240	100.00	2.500	92.53	25.000	29.33	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.026	100.00	0.275	100.00	3.000	90.19	31.500	20.83	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.030	100.00	0.316	100.00	3.150	89.50	32.000	20.28	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.035	100.00	0.363	100.00	3.802	86.62	40.000	13.14	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.040	100.00	0.417	100.00	4.000	85.77	45.000	9.89	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.046	100.00	0.479	100.00	5.000	81.64	50.000	7.35	418.869	0.00	4365.158	0.00
0.052	100.00	0.550	100.00	6.000	77.74	63.000	3.06	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.060	100.00	0.631	100.00	6.300	76.60	64.000	2.84	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.069	100.00	0.724	99.95	8.000	70.43	80.000	0.57	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.079	100.00	0.832	99.80	8.710	67.98	90.000	0.08	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.091	100.00	0.955	99.49	10.000	63.71	91.201	0.06	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.105	100.00	1.000	99.35	12.500	56.09	95.000	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.120	100.00	1.250	98.43	13.183	54.16	100.000	0.00	1096.478	0.00		

Operator notes:



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
Cinza casca de arroz 125 (R60/10) -

Sample Source & type:
Secil

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
QualityControl

Measured by:
Administrator

Result Source:
Averaged

Measured:
quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:29:38

Analysed:
quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:29:39

Particle Name:
Quality Audit Standard

Particle RI:
1.530

Dispersant Name:

Accessory Name:
Scirocco 2000 with Hopper

Absorption:
0

Dispersant RI:
1.000

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Weighted Residual:
0.411 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
1.79 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
1.0004 %Vol

Span :
2.750

Uniformity:
0.85

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.27 m²/g

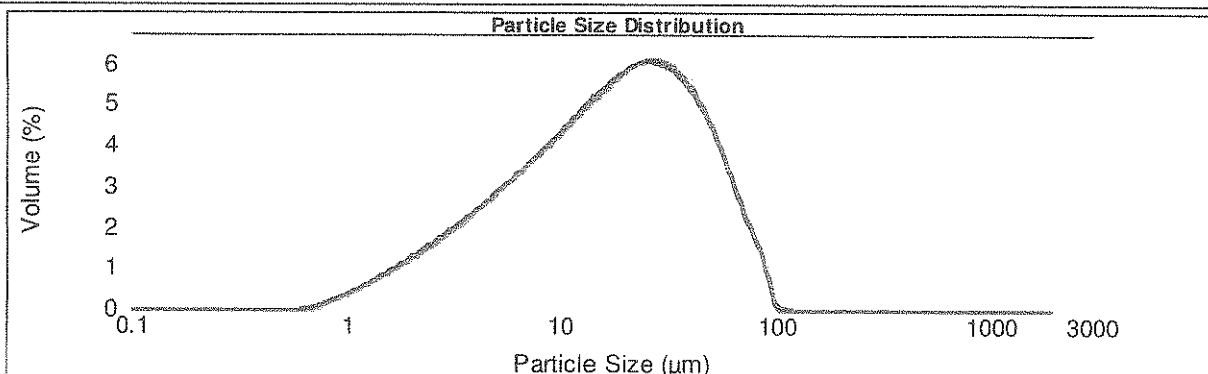
Surface Weighted Mean D[3,2]:
8.550 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
23.159 um

d(0.1): 3.504 um

d(0.5): 17.537 um

d(0.9): 51.734 um



— Cinza casca de arroz 125 (R60/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:29:38
— Cinza casca de arroz 125 (R60/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:30:14
— Cinza casca de arroz 125 (R60/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:30:31
— Cinza casca de arroz 125 (R60/10) - Average, quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:29:38

Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %
0.010	100.00	0.138	100.00	1.445	98.22	15.136	55.23	125.000	0.00	1258.925	0.00
0.015	100.00	0.158	100.00	1.500	98.02	16.000	53.29	128.000	0.00	1445.440	0.00
0.017	100.00	0.182	100.00	1.600	97.66	20.000	45.09	160.000	0.00	1659.587	0.00
0.020	100.00	0.209	100.00	2.000	96.11	24.000	38.01	192.000	0.00	1905.461	0.00
0.023	100.00	0.240	100.00	2.500	94.08	25.000	36.40	206.930	0.00	2187.762	0.00
0.026	100.00	0.275	100.00	3.000	92.03	31.500	27.25	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.030	100.00	0.316	100.00	3.150	91.42	32.000	26.63	275.423	0.00	2894.032	0.00
0.035	100.00	0.363	100.00	3.802	88.82	40.000	18.26	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.040	100.00	0.417	100.00	4.000	88.04	45.000	14.24	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.046	100.00	0.479	100.00	5.000	84.26	50.000	10.98	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.052	100.00	0.550	100.00	6.000	80.69	63.000	5.20	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.060	100.00	0.631	100.00	6.300	79.66	64.000	4.88	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.069	100.00	0.724	99.97	8.000	74.14	80.000	1.45	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.079	100.00	0.832	99.88	8.710	71.97	90.000	0.37	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.091	100.00	0.955	99.65	10.000	68.23	91.201	0.29	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.105	100.00	1.000	99.55	12.500	61.56	96.000	0.08	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.120	100.00	1.250	98.87	13.183	58.86	100.000	0.03	1096.478	0.00		

Operator notes:

Joana

MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
Cinza casca de arroz 250 (R57/10) -

Sample Source & type:
Secil

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
QualityControl

Measured by:
Administrator

Result Source:
Averaged

Measured:
quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:39:07

Analysed:
quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:39:08

Particle Name:
Quality Audit Standard

Particle RI:
1.530

Dispersant Name:

Accessory Name:
Scirocco 2000 with Hopper

Absorption:
0

Dispersant RI:
1.000

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Weighted Residual:
0.262 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
2.06 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
1.0005 %Vol

Span :
2.908

Uniformity:
0.908

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.26 m²/g

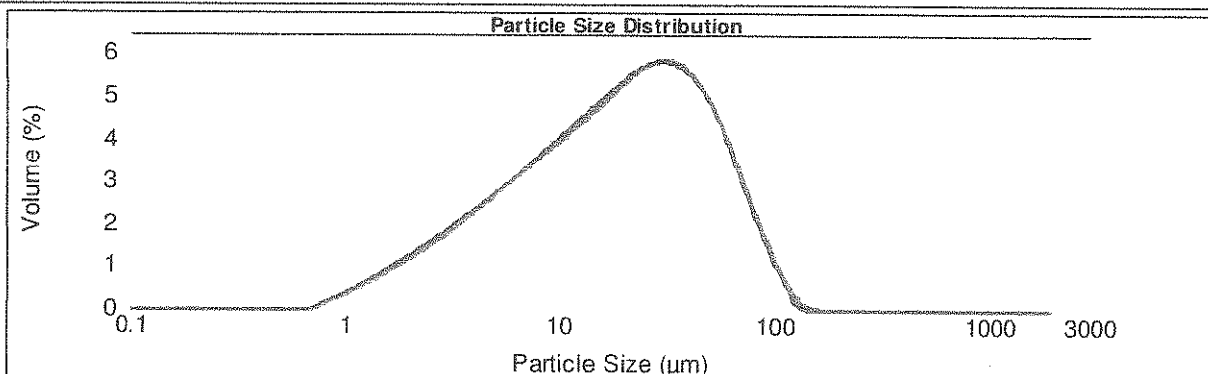
Surface Weighted Mean D[3,2]:
8.872 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
26.095 um

d(0.1): 3.557 um

d(0.5): 19.122 um

d(0.9): 59.165 um



— Cinza casca de arroz 250 (R57/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:39:07
 — Cinza casca de arroz 250 (R57/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:39:24
 — Cinza casca de arroz 250 (R57/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:40:26
 — Cinza casca de arroz 250 (R57/10) - Average, quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:39:07

Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %
0.010	100.00	0.138	100.00	1.445	98.26	15.136	57.70	125.000	0.11	1258.925	0.00
0.015	100.00	0.158	100.00	1.500	98.06	16.000	55.94	128.000	0.08	1445.440	0.00
0.017	100.00	0.182	100.00	1.600	97.70	20.000	48.44	160.000	0.00	1659.587	0.00
0.020	100.00	0.209	100.00	2.000	96.16	24.000	41.88	192.000	0.00	1905.461	0.00
0.023	100.00	0.240	100.00	2.500	94.17	25.000	40.36	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.026	100.00	0.275	100.00	3.000	92.17	31.500	31.62	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.030	100.00	0.316	100.00	3.150	91.58	32.000	31.02	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.035	100.00	0.363	100.00	3.802	89.06	40.000	22.64	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.040	100.00	0.417	100.00	4.000	88.32	45.000	18.46	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.046	100.00	0.479	100.00	5.000	84.88	50.000	14.95	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.052	100.00	0.550	100.00	6.000	81.27	63.000	8.39	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.060	100.00	0.631	100.00	6.300	80.29	64.000	8.01	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.069	100.00	0.724	100.00	8.000	75.08	80.000	3.64	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.079	100.00	0.832	99.91	8.710	73.05	90.000	2.09	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.091	100.00	0.955	99.70	10.000	69.58	91.201	1.95	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.105	100.00	1.000	99.60	12.500	63.46	96.000	1.45	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.120	100.00	1.250	98.91	13.183	61.91	100.000	1.12	1096.478	0.00		

Operator notes:

Joana
[Signature]

MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
Cinza casca de arroz 500 (R59/10) -

Sample Source & type:
Secil

Sample bulk lot ref:

SOP Name:
QualityControl

Measured by:
Administrator

Result Source:
Averaged

Measured:
quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:45:36

Analysed:
quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:45:37

Particle Name:
Quality Audit Standard

Particle RI:
1.530

Dispersant Name:

Accessory Name:
Scirocco 2000 with Hopper

Absorption:
0

Dispersant RI:
1.000

Analysis model:
General purpose

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Weighted Residual:
1.134 %

Sensitivity:
Normal

Obscuration:
1.35 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0004 %Vol

Span :
2.919

Uniformity:
0.905

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.25 m²/g

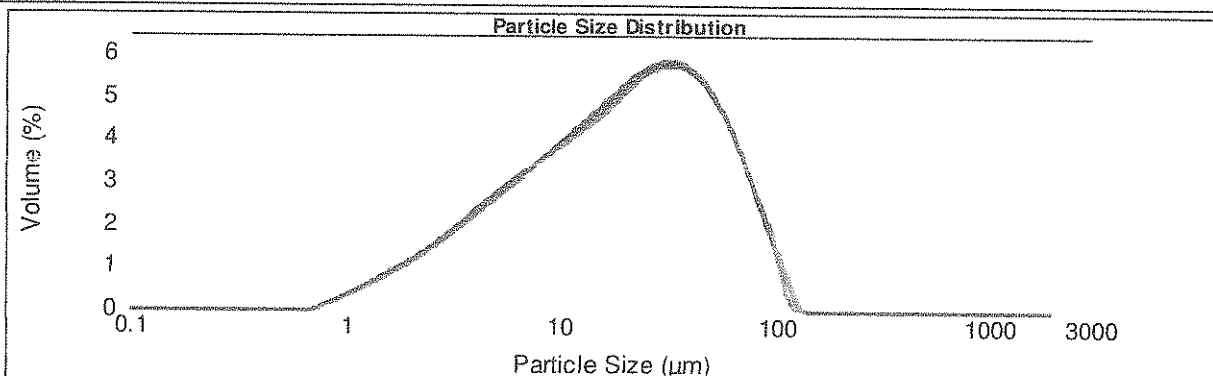
Surface Weighted Mean D[3,2]:
9.236 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
27.163 um

d(0.1): 3.717 um

d(0.5): 19.966 um

d(0.9): 62.000 um



— Cinza casca de arroz 500 (R59/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:45:36

— Cinza casca de arroz 500 (R59/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:46:00

— Cinza casca de arroz 500 (R59/10), quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:46:24

— Cinza casca de arroz 500 (R59/10) - Average, quinta-feira, 4 de Fevereiro de 2010 11:45:36

Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %	Size (µm)	Vol Over %
0.010	100.00	0.138	100.00	1.445	98.45	15.136	58.94	125.000	0.03	1258.925	0.00
0.015	100.00	0.158	100.00	1.500	98.27	16.000	57.23	126.000	0.01	1445.440	0.00
0.017	100.00	0.182	100.00	1.600	97.94	20.000	49.94	160.000	0.00	1659.587	0.00
0.020	100.00	0.209	100.00	2.000	96.51	24.000	43.54	192.000	0.00	1905.461	0.00
0.023	100.00	0.240	100.00	2.500	94.62	25.000	42.05	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.026	100.00	0.275	100.00	3.000	92.71	31.500	33.42	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.030	100.00	0.316	100.00	3.150	92.14	32.000	32.83	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.035	100.00	0.363	100.00	3.802	89.68	40.000	24.43	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.040	100.00	0.417	100.00	4.000	88.95	45.000	20.16	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.046	100.00	0.479	100.00	5.000	85.37	50.000	16.54	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.052	100.00	0.550	100.00	6.000	82.01	63.000	9.57	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.060	100.00	0.631	100.00	6.300	81.04	64.000	9.15	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.069	100.00	0.724	100.00	8.000	75.91	80.000	4.23	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.079	100.00	0.832	99.93	8.710	73.92	90.000	2.38	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.091	100.00	0.955	99.75	10.000	70.52	91.201	2.21	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.105	100.00	1.000	99.66	12.500	64.55	96.000	1.60	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.120	100.00	1.250	99.04	13.183	63.04	100.000	1.18	1096.476	0.00		

Operator notes: